

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

LARISSA ALVES DE MORAIS

AMBIENTES DE APRENDIZAGEM EM FÍSICA: INVESTIGANDO DINÂMICA DA
DISCIPLINA FÍSICA CONCEITUAL EM UM CURSO DE LICENCIATURA

Belo Horizonte - MG

Maio 2022

LARISSA ALVES DE MORAIS

**AMBIENTES DE APRENDIZAGEM EM FÍSICA: INVESTIGANDO DINÂMICA DA
DISCIPLINA FÍSICA CONCEITUAL EM UM CURSO DE LICENCIATURA**

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

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências.

Orientador: Orlando Gomes de Aguiar Jr.

Coorientador: Douglas Henrique de Mendonça.

Belo Horizonte – MG

Maio 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

AMBIENTES DE APRENDIZAGEM EM FÍSICA: INVESTIGANDO DINÂMICA DA DISCIPLINA FÍSICA CONCEITUAL EM UM CURSO DE LICENCIATURA

LARISSA ALVES DE MORAIS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL, como requisito para obtenção do grau de Mestre em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL.

Aprovada em 06 de maio de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Orlando Gomes de Aguiar Junior - Orientador
UFMG
Prof(a). Douglas Henrique de Mendonca
UFV - Florestal
Prof(a). Arnaldo de Moura Vaz da Silva
UFMG
Prof(a). André Machado Rodrigues
USP

Belo Horizonte, 25 de maio de 2022.

Professora Dra. Rosimar de Fátima Oliveira
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Educação:
Conhecimento e Inclusão Social - FAE/UFMG



Documento assinado eletronicamente por **Rosimar de Fatima Oliveira, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 26/05/2022, às 07:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1483313** e o código CRC **7E7198DE**.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui meus agradecimentos a todos e todas que contribuíram de alguma maneira durante a minha trajetória acadêmica e de vida para que fosse possível realizar esta pesquisa.

Agradeço aos meus pais, Vilma e Aguiar, por todo o cuidado, dedicação e incentivo que me permitiram chegar até aqui. E aos meus irmãos Letícia e Tiago pelo apoio familiar.

Aos amigos e familiares que se fizeram presente, mesmo neste período pandêmico em que o distanciamento social se fez necessário.

Ao meu orientador Orlando, por contribuir imensamente para minha formação como pesquisadora, pela confiança no meu trabalho e por todo o auxílio fundamental para a conclusão desta pesquisa.

Ao professor Douglas, que além de ceder o espaço e tempo em sua sala de aula tornando este trabalho possível, foi um extraordinário coorientador, compartilhando conhecimentos pertinentes e necessários para a concretização da dissertação.

A Ana Bárbara, pelas trocas e ajudas durante esta jornada.

Aos professores que compõem a banca examinadora desta dissertação, André Machado Rodrigues e Arnaldo de Moura Vaz pela disposição em discutir e contribuir com este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo necessário apoio financeiro.

RESUMO

Este estudo se propõe a examinar, a partir da Teoria Socio-Histórico-Cultural da Atividade, como se organiza, se estrutura e se desenvolve uma disciplina de Física Conceitual como ambiente de ensino e aprendizagem no contexto do ensino remoto. Acreditamos que este ambiente favorece a aprendizagem dos estudantes em várias dimensões e nos propomos a aprofundar o entendimento de seu alcance e da concretização, em detalhe, de suas intenções educativas. A metodologia adotada na disciplina Física Conceitual se baseia no trabalho em grupo para resolução de questões propostas pelo professor, antecedido pela leitura do capítulo do livro-texto indicado para cada aula. Os dados foram coletados principalmente por meio de gravações em vídeo, produção escrita dos estudantes e entrevistas. A análise é fundamentada nos princípios da Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade. Essa perspectiva teórica nos possibilitou uma larga lente de análise das aprendizagens que ocorreram nos Sistemas de Atividades analisados, evidenciando interações e conflitos no processo de ensino-aprendizagem. As discussões apresentadas nesta dissertação objetivam responder às seguintes questões de pesquisa: (1) Como os recursos mediacionais disponibilizados pela disciplina aos estudantes são utilizados e ampliados no trabalho dos grupos e com quais intenções? (2) Como os grupos se organizam, dividem tarefas, que papéis são exercidos por seus membros e como as diferenças são resolvidas ou trabalhadas nos grupos? (3) Como se relacionam os sentidos dessa experiência de formação do ponto de vista dos estudantes com os sentidos pretendidos pelo professor? Os resultados apontam as potencialidades da metodologia adotada na disciplina Física Conceitual, como a diversidade de recursos mediacionais disponibilizados, que quando articulados, provocam os sujeitos, geram tensões e possibilitam a superação de contradições, impulsionando a aprendizagem. Também o trabalho em grupo, que oportuniza a discussão e a argumentação, fundamentais para o surgimento de ideias e soluções que dificilmente seriam possíveis durante a aprendizagem individual. Além do tratamento conceitual da física, que permite aos licenciandos descrever e explicar fenômenos físicos sem o uso de formalismo matemático, o que é fundamental para a prática docente de futuros professores do Ensino Médio.

Palavras-chave: Ensino de Física, ambientes de aprendizagem colaborativa, resolução de problemas, Teoria da Atividade.

ABSTRACT

This study proposes to examine, from the Cultural Historical Activity Theory (CHAT), how a Conceptual Physics class is organized, structured and developed as a teaching and learning environment in the remote teaching context. We believe that this environment favors student learning in several dimensions and we propose to deepen the understanding of its scope and the concreteness, in detail, of its educational intentions. The methodology adopted in the Conceptual Physics class is based on group work to solve questions proposed by the teacher, preceded by reading the chapter of the textbook indicated for each class. The data were collected mainly through video recordings, written production by students and interviews. The analysis is based on the principles of the Cultural Historical Activity Theory. This theoretical perspective provided us with a broad lens for analyzing the learning that took place in the Activity Systems analyzed, showing interactions and conflicts in the teaching-learning process. The discussions presented in this dissertation aim to answer the following research questions: (1) How are the mediational resources made available by the Conceptual Physics class to the students used and expanded in the work of the groups and with which intentions? (2) How are groups organized, split tasks, which roles are played by their members, and how are differences resolved or worked out in groups? (3) How do the meanings of this education experience from the students' point of view relate to the meanings intended by the teacher? The results point to the potential of the methodology adopted in the Conceptual Physics class, such as the diversity of mediational resources available, which when articulated, provoke the subjects, generate tensions and make it possible to overcome contradictions, boosting the learning. Also, the group work, which provides an opportunity for discussion and argumentation fundamental for the emergence of ideas and solutions that would hardly be possible during individual learning. In addition to the conceptual treatment of physics, which allows undergraduate students to describe and explain physical phenomena without the use of mathematical formalism, which is fundamental for the teaching practice of future high school teachers.

Keywords: Physics Teaching, collaborative learning environments, problem solving, Activity Theory.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 1	47
Quadro 2 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 1	48
Quadro 3 – Entrevista com a estudante Beatriz: Trecho 1	48
Quadro 4 – Entrevista com o estudante Pedro: Trecho 1	48
Quadro 5 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 2	49
Quadro 6 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 3	49
Quadro 7 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 1	50
Quadro 8 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 1	50
Quadro 9 – Entrevista com o estudante Fernando: Trecho 1	50
Quadro 10 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 1	51
Quadro 11 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 2	51
Quadro 12 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 3	51
Quadro 13 – Entrevista com a estudante Beatriz: Trecho 2	51
Quadro 14 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 4	51
Quadro 15 – Entrevista com o Professor: Trecho 1	52
Quadro 16 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 4	53
Quadro 17 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 2	53
Quadro 18 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 5	54
Quadro 19 – Entrevista com o estudante Rodrigo: Trecho 1	54
Quadro 20 - Episódio 1: Parte 1	58
Quadro 21- Episódio 1: Parte 2	59
Quadro 22 - Episódio 1: Parte 3	63
Quadro 23 - Episódio 1: Parte 4	64
Quadro 24 - Episódio 1: Parte 5	67
Quadro 25 - Episódio 2: Parte 1	70
Quadro 26 - Episódio 2: Parte 2	73
Quadro 27 - Episódio 2: Parte 3	75
Quadro 28 - Episódio 2: Parte 4	77
Quadro 29 - Episódio 2: Parte 5	79
Quadro 30 - Episódio 2: Parte 6	83
Quadro 31 - Episódio 2: Parte 7	84
Quadro 32- Episódio 3: Parte 1	88

Quadro 33 - Episódio 3: Parte 2	89
Quadro 34 - Episódio 3: Parte 3	91
Quadro 35 - Episódio 4: Parte 1	94
Quadro 36 - Episódio 4: Parte 2	95
Quadro 37 - Episódio 4: Parte 3	96
Quadro 38 - Episódio 5: Parte 1.1	106
Quadro 39 - Episódio 5: Parte 1.2	109
Quadro 40 - Episódio 5: Parte 1.3	111
Quadro 41 - Episódio 5: Parte 1.4	113
Quadro 42 - Episódio 5: Parte 1.5	116
Quadro 43 - Episódio 5: Parte 1.6	121
Quadro 44 - Episódio 5: Parte 1.7	124
Quadro 45 - Episódio 5: Parte 2	129
Quadro 46 - Episódio 5: Parte 3.1	133
Quadro 47 - Episódio 5: Parte 3.2	138
Quadro 48 - Episódio 6: Parte 1	142
Quadro 49 - Episódio 6: Parte 2	146
Quadro 50 - Episódio 6: Parte 3	150
Quadro 51 - Episódio 6: Parte 4	156
Quadro 52 - Episódio 6: Parte 5	158
Quadro 53 - Episódio 6: Parte 6	164
Quadro 54 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 5	173
Quadro 55 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 2	173
Quadro 56 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 3	174
Quadro 57 – Entrevista com o estudante Caio: Trecho 1	174
Quadro 58 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 2	175
Quadro 59 – Entrevista com o estudante Rodrigo: Trecho 2	175
Quadro 60 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 3	175
Quadro 61 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 6	176
Quadro 62 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 6	177
Quadro 63 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 4	177
Quadro 64 – Entrevista com a estudante Beatriz: Trecho 3	177
Quadro 65 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 4	177

Quadro 66 - Aula 1: organização do trabalho em grupo.....	178
Quadro 67 - Aula 3: problemas enfrentados pelo redator	179
Quadro 68 - Aula 9: problemas enfrentados pelo redator	180
Quadro 69 - Aula 12: organização do trabalho em grupo.....	181
Quadro 70 - Aula 13: reflexões sobre o gerenciamento do tempo	181
Quadro 71 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 7	183
Quadro 72 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 3	183
Quadro 73 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 8	183
Quadro 74 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 9	184
Quadro 75 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 5.....	185
Quadro 76 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 4	185
Quadro 77 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 10	185
Quadro 78 – Entrevista com o Professor: Trecho 2	189
Quadro 79 – Entrevista com o estudante Caio: Trecho 2.....	190
Quadro 80 – Entrevista com o estudante Pedro: Trecho 2	190
Quadro 81 – Entrevista com o Professor: Trecho 3	192
Quadro 82 – Entrevista com o Professor: Trecho 4	193
Quadro 83 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 7	194
Quadro 84 – Entrevista com o estudante Rodrigo: Trecho 3	194
Quadro 85 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 6.....	194
Quadro 86 – Entrevista com o estudante Fernando: Trecho 2.....	195
Quadro 87 – Entrevista com o Professor: Trecho 5	195
Quadro 88 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 5	197
Quadro 89 – Entrevista com o estudante Rodrigo: Trecho 4	197
Quadro 90 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 5.....	197
Quadro 91 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 6	198
Quadro 92 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 6.....	198
Quadro 93 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 11	199
Quadro 94 – Entrevista com o estudante Caio: Trecho 3.....	199
Quadro 95 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 7.....	199
Quadro 96 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 8	200
Quadro 97 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 7	200
Quadro 98 – Entrevista com o estudante Pedro: Trecho 3	200

Quadro 99 – Entrevista com o Professor: Trecho 6	201
Quadro 100 – Entrevista com o Professor: Trecho 7	202
Quadro 101 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 7	203
Quadro 102 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 12	203
Quadro 103 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 9	203
Quadro 104 – Entrevista com o estudante Pedro: Trecho 4	204
Quadro 105 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 8	204
Quadro 106 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 8	204

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: (A) Representação do ato mediado de Vygotsky e (B) sua reformulação. .	32
Figura 2: Modelo para um Sistema de Atividade humana.	34
Figura 3: Representação de um modelo de interação de dois Sistemas de Atividades.	35
Figura 4: Quatro níveis de contradições dentro do Sistema de Atividade humana. ..	36
Figura 5: Segunda questão da aula 1. Questionário relativo ao tema Primeira lei de Newton.	58
Figura 6: Oitava questão da aula 13. Questionário relativo ao tema Vibrações e ondas.	70
Figura 7: Desenho feito pelo estudante Jonas no software Microsoft Paint, onde o ponto vermelho representa o avião e uma pessoa é representada no chão em um ponto anterior ao avião.	71
Figura 8a: Figura 19.18 do livro-texto em que mostra um padrão ondulatório produzido por um inseto nadando com a mesma rapidez da onda.	71
Figura 9: Figura 19.24 do livro-texto em que mostra uma onda de choque.	74
Figura 10: Desenho feito pelo estudante Jonas, onde o ponto vermelho representa o avião em uma velocidade igual à velocidade de propagação da onda sonora. A onda sonora emitida pelo avião que é ouvida pela pessoa está sendo apontada por uma seta.	74
Figura 11: Desenho feito pelo estudante Jonas, onde o ponto vermelho representa onde o avião é visto e o ponto preto o avião no momento que emite a onda sonora. A onda sonora que é ouvida pela pessoa está destacada em vermelho.	77
Figura 12: Desenho feito pelo estudante Jonas, onde o ponto preto representa o avião em uma velocidade menor do que a velocidade de propagação da onda sonora. A onda sonora que é ouvida pela pessoa está sendo apontada por uma seta.	84
Figura 13: Primeira questão da aula 5. Questionário relativo ao tema 3ª Lei de Newton do Movimento.	87
Figura 14: Sequência de figuras que ilustram a seção “Definindo nosso sistema” do livro-texto.	88
Figura 15: Segunda questão da aula 6. Questionário relativo ao tema Momentum. .	93
Figura 16: Primeira questão da aula 19. Questionário relativo ao tema Magnetismo e Indução eletromagnética.	102

Figura 17: Captura de tela da simulação virtual. Aba solenoide.....	103
Figura 18: Captura de tela da simulação virtual. Aba solenoide. Menu Ímã em barra (a) e Solenoide (b).....	104
Figura 19: Captura de tela da simulação virtual. Aba transformador.....	104
Figura 20: Captura de tela da simulação virtual. Aba transformador. Menu Eletroímã (a) e Solenoide (b).....	105
Figura 21: Captura de tela da simulação virtual. Aba gerador.	105
Figura 22: Captura de tela da simulação virtual. Aba gerador. Menu Ímã em barra (a) e Solenoide (b).....	106
Figura 23: Captura de tela da simulação virtual. Aba solenoide.....	109
Figura 24: Captura de tela da simulação virtual. Aba gerador.	116
Figura 25: Captura de tela da simulação virtual. Aba transformador.....	128
Figura 26: Primeira questão da aula 23. Questionário relativo ao tema Ondas Luminosas.....	140
Figura 27: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência.....	141
Figura 28: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Uma fonte ligada produzindo um brilho contínuo na tela.....	141
Figura 29: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes ligadas produzindo um padrão de interferência na tela.	142
Figura 30: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes próximas produzindo um padrão de interferência na tela.	145
Figura 31: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes com distância mediana entre elas produzindo um padrão de interferência na tela.....	145
Figura 32: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes afastadas produzindo um padrão de interferência na tela.	145
Figura 33: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes de luz violeta produzindo um padrão de interferência na tela.	150

Figura 34: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes de luz vermelha produzindo um padrão de interferência na tela.	150
Figura 35: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes de luz de baixa amplitude produzindo um padrão de interferência na tela.....	155
Figura 36: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes de luz de alta amplitude produzindo um padrão de interferência na tela.....	156
Figura 37: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba fendas. Ondas planas atravessando uma fenda. Fenômeno de difração.	158
Figura 38: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba fendas. Ondas planas atravessando duas fendas e produzindo um padrão de interferência na tela.	158
Figura 39: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba fendas. Ondas planas atravessando duas fendas de largura mínima e produzindo um padrão de interferência na tela.	162
Figura 40: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba fendas. Ondas planas atravessando duas fendas de grande largura e produzindo um padrão de interferência na tela.	162
Figura 41: Representação do Sistemas de Atividade (ENGESTRÖM, 2001) adaptado por Pontelo (2009).....	187

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Justificativas.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. Metodologia da Revisão Bibliográfica.....	20
2.2. Resolução de problemas em Física.....	21
2.2.1. A revisão feita por Docktor & Mestre (2014).....	21
2.2.2. A revisão feita por Ince (2018).....	23
2.2.3. A revisão feita por Oliveira, Araujo e Veit (2017).....	24
2.2.4. Estudos sobre resolução de problemas em Física.....	26
2.3. Ambientes de aprendizagem colaborativa.....	28
3. REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA SÓCIO-HISTÓRICO-CULTURAL DA ATIVIDADE.....	30
3.1. A Teoria da Atividade.....	31
3.2. As gerações da Teoria da Atividade.....	31
3.3. Aprendizagem expansiva.....	38
4. OBJETIVO.....	40
5. METODOLOGIA.....	41
5.1. Ambiente da pesquisa.....	42
5.2. Coleta de dados.....	43
5.3. Análise dos dados.....	45
6. USO DE RECURSOS MEDIACIONAIS NA RESOLUÇÃO DE QUESTÕES CONCEITUAIS EM FÍSICA.....	46
6.1. Recursos disponibilizados e utilizados na disciplina Física Conceitual.....	47
6.2. Livro-texto como recurso mediacional da disciplina Física Conceitual.....	55
6.2.1. O livro.....	55
6.2.2. O uso do livro na disciplina Física Conceitual – intenções e finalidades.....	56

6.2.3. Direcionamento da Atividade pelo recurso mediacional livro-texto	57
6.2.4. Episódios do uso do livro-texto como recurso mediacional	57
6.2.4.1. Episódio 1	57
6.2.4.2. Episódio 2.....	69
6.2.4.3. Episódio 3.....	87
6.2.4.4. Episódio 4.....	93
6.3. Simulações e laboratórios virtuais como recursos mediacionais da disciplina Física Conceitual	99
6.3.1. Simulações e laboratórios virtuais no ensino de Física.....	99
6.3.2. O uso de simulações e laboratórios virtuais na disciplina Física Conceitual	100
6.3.3. Episódios do uso de simulações e laboratórios virtuais como recursos mediacionais	101
6.3.3.1. Episódio 5.....	101
6.3.3.2. Episódio 6.....	139
6.4. Discussão acerca dos recursos mediacionais disponibilizados e utilizados na disciplina Física Conceitual	169
7. DIVISÃO DO TRABALHO NA DISCIPLINA FÍSICA CONCEITUAL.....	172
7.1. Modos de organização dos grupos.....	173
7.2. Organização do Grupo 1 - entendendo os sujeitos e a divisão do trabalho no nosso Sistema de Atividade	178
7.3. Discussão acerca da divisão de trabalho na disciplina Física Conceitual	186
8. EXPECTATIVAS E VIVÊNCIAS DOS DIFERENTES SUJEITOS DURANTE O CURSO DE FÍSICA CONCEITUAL – UMA EXPERIÊNCIA	187
8.1. Oferta da disciplina Física Conceitual pelo professor e a adesão dos estudantes – Motivações iniciais	188
8.2. Metodologia de ensino adotada no curso - Visões de licenciandos em Física	197

8.3. Múltiplas perspectivas de aprendizagem oportunizadas pelo ambiente de aprendizagem da disciplina Física Conceitual e como contribuem para a formação de professores.....	201
8.4. Discussão acerca da experiência proporcionada pela disciplina Física Conceitual.....	205
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	206
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	211
APÊNDICE A	216
APÊNDICE B	219
APÊNDICE C	222
ANEXO A	226
ANEXO B	230

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa apresentada nesta dissertação de mestrado surge do interesse em melhor compreender o ensino e a aprendizagem de física em ambientes de aprendizagem que favorecem a participação discursiva dos estudantes em grupos colaborativos.

Na busca de um ambiente de aprendizagem que pudesse ser investigado, precisamos definir o que é esse ambiente. Segundo Pontelo e Moreira (2008) um ambiente de aprendizagem escolar é um lugar construído socialmente a partir das interações entre estudantes, professores e fontes materiais e simbólicas do ambiente, e organizado para promover oportunidades de aprendizagem. Nesse sentido, compreendemos o ambiente virtual da disciplina “Física Conceitual”, ofertada em regime remoto para o curso de licenciatura em Física de uma universidade federal, como um ambiente de aprendizagem em que os estudantes têm a oportunidade de reverem e aprofundarem os principais conceitos básicos de física, além de desenvolverem habilidades procedimentais e atitudinais, como trabalho em equipe, argumentação, persuasão e síntese. Nesta disciplina, o professor propõe questões conceituais de física que devem ser solucionadas pelos estudantes, trabalhando em pequenos grupos.

Esse ambiente de aprendizagem foi inspirado em um outro muito similar que foi estudado por Mendonça (2019) em sua tese de doutorado. O autor investiga a atividade em grupo de resolução de questões conceituais em uma disciplina de um curso de graduação em Física, que tem o mesmo objetivo da disciplina Física Conceitual citada anteriormente. A diferença entre esses dois ambientes de pesquisa é que o primeiro, objeto dessa dissertação, é um ambiente virtual que atende alunos dos primeiros semestres do curso de licenciatura em Física, enquanto o segundo, objeto da tese de Mendonça (*idem*), é um ambiente presencial voltado para alunos tanto da licenciatura quanto do bacharelado em Física que já tenham completado o ciclo básico do curso e estejam cursando os semestres finais. Mendonça (*idem*) se fundamenta nos princípios da Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade (ENGESTRÖM, 1978) para analisar seu objeto de estudo e destaca diversos pontos na metodologia adotada na disciplina – questões desafiadoras, o trabalho em grupo, as intervenções do professor, recursos mediacionais, dentre outras – que possibilitam mudanças na atividade dos estudantes em direção a aprendizagem. O autor indica a

necessidade de outros trabalhos sobre pontos não explorados em sua tese que também possam 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, que minimizem a passividade dos estudantes, e permitam que sejam desafiados por boas questões conceituais de física em sua formação. Assim, esperamos com essa pesquisa dar continuidade ao trabalho de Mendonça (idem), aprofundando alguns aspectos de implementação deste projeto de formação docente em física em um novo contexto.

A pesquisa é produzida em torno do seguinte problema: como a disciplina Física Conceitual se constitui como ambiente de aprendizagem? E quais são suas potencialidades e limitações para o ensino de física em regime remoto?

Assim como Mendonça (2019), entendemos que o ambiente de aprendizagem da disciplina Física Conceitual se constitui em um contexto social, cultural e histórico específico. Por essa razão, adotamos uma perspectiva sociocultural na análise desse ambiente educacional, nos fundamentando na Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade ou Teoria da Atividade (TA). Esse olhar teórico sobre o objeto de pesquisa nos levou a desdobrar o problema geral em três questões de pesquisa: (1) Como os recursos mediacionais disponibilizados pela disciplina aos estudantes são utilizados e ampliados no trabalho dos grupos e com quais intenções? (2) Como os grupos se organizam, dividem tarefas e que papéis são exercidos por seus membros e como as diferenças são resolvidas ou trabalhadas nos grupos? (3) Como se relacionam os sentidos dessa experiência de formação do ponto de vista dos estudantes (propósitos, potencialidades, limitações) com os sentidos pretendidos pelo professor? Essas questões serão respondidas a partir de uma análise qualitativa fundamentada nos princípios da Teoria da Atividade.

Para situar nosso objeto no campo da pesquisa em Educação em Ciências foi realizada uma revisão bibliográfica dos estudos sobre resolução de problemas em física e ambientes de aprendizagem colaborativa.

O trabalho empírico foi desenvolvido a partir da coleta de dados gerados a partir das gravações em vídeo e produção escrita dos estudantes em aulas ocorridas durante um período letivo em regime remoto da disciplina Física Conceitual.

1.1. Justificativas

Em um estudo sobre evasão universitária que trata especificamente do curso de Física de uma universidade federal brasileira, Barroso e Falcão (2004) mostram a influência que uma metodologia aplicada às disciplinas do primeiro ano pode ter sobre os altos índices de evasão. As autoras constataam que uma das causas de evasão é relacionada ao fracasso na permanência no curso, devido a uma grande dificuldade de aprovação nas disciplinas iniciais, seja por deficiências prévias de conteúdo, seja por inadequação nos métodos de estudo, seja por dificuldades de relacionamento com os demais colegas e com a instituição. Essa causa pode ser evitada por uma atuação docente bem planejada. Barroso e Falcão (idem) sugerem que os professores utilizem métodos que privilegiem o trabalho ativo do estudante em sala de aula, desenvolvam técnicas que façam com que o aluno desenvolva trabalhos cooperativos com os seus colegas e com os professores da instituição, e proponham materiais didáticos apropriados que permitam a superação do fosso entre o conteúdo e a forma de trabalho dos alunos no ensino médio e na universidade.

A partir da nossa experiência, podemos dizer que o curso de Física, em geral, apresenta uma estrutura rígida de ensino, os docentes normalmente adotam metodologias de ensino tradicionais, com exposição do conteúdo de forma vertical, sem discussões e debates com os estudantes. Os resultados apresentados por Barroso e Falcão (2004) indicam que as disciplinas iniciais que adotam esse tipo de metodologia tradicional são ineficazes e desmotivadoras para os estudantes.

Mesmo os cursos de Licenciatura em Física empregam metodologias tradicionais que promovem um ensino rígido e pouco descontraído, não sendo coerentes com as metodologias que se espera que os professores de Física em formação exerçam em suas futuras práticas pedagógicas. Isso acaba por gerar um dilema para os licenciandos entre querer se distanciar da forma como eles aprenderam para praticar um ensino diferenciado e acabar replicando a mesma metodologia que rejeitam (CASTIBLANCO; NARDI, 2016).

Castiblanco e Nardi (2016), observaram que licenciandos em Física mostram-se interessados em transformar o ensino tradicional, mas, ao mesmo tempo, eles desconhecem formas possíveis de exercer um ensino alternativo. Além disso, eles percebem que mesmo dominando alguns conteúdos de física, não conseguem explicá-los satisfatoriamente, e acabam por reproduzir a forma com que foram

ensinados, principalmente nas disciplinas de conteúdos específicos cursadas no Ensino Superior.

Assim, consideramos importante o estudo de disciplinas que empregam metodologias ativas, centradas no estudante, como a disciplina Física Conceitual, objeto de estudo deste trabalho. Avaliamos nosso ambiente de pesquisa como favorável para o estudo sobre os processos de aprendizagem em atividades colaborativas e esperamos com esta pesquisa mostrar as potencialidades do ambiente de aprendizagem criado pela disciplina Física Conceitual, validando uma metodologia que não é tão empregada nos cursos de Física do Ensino Superior, e que pode ter implicações positivas para a formação de professores ao colocá-los em contato com uma forma alternativa de ensino. Consideramos ainda que este trabalho pode contribuir para a construção de ambientes de aprendizagem em física efetivos em outros níveis de ensino.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa está inserida nos campos de estudo de resolução de problemas em física e de ambientes de aprendizagem colaborativa.

A fim de contextualizar e situar o objeto de pesquisa nos dois campos de estudo citados anteriormente, foi realizada uma revisão bibliográfica guiada pelas questões: (1) Quais são os principais resultados em termos de o que se sabe e o que não se sabe na área? (2) Quais são as controvérsias e similaridades na literatura? (3) Quais são as lacunas na literatura desses campos de estudo?

2.1. Metodologia da Revisão Bibliográfica

Uma primeira pesquisa foi realizada no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Para a busca de artigos a base de dados Education Resources Information Center (ERIC) foi escolhida por ser a maior e mais famosa base de dados da literatura em educação. As buscas na base ERIC foram feitas por descritores e não por palavras-chave, pois os resultados são mais precisos se forem usados descritores, uma vez que eles localizam os registros por temas independente do termo (palavra-chave) que o autor tiver usado. A opção “Peer reviewed only” foi selecionada para que a busca retornasse apenas artigos revisados por pares.

Para a pesquisa de artigos relacionados ao campo de estudo Resolução de problemas em física, foram utilizados os descritores “physics”, “problem solving” e “science education”, e considerado o período de publicação entre 2005 e 2020. A partir dos títulos e resumos dos artigos, foram selecionados 3 artigos de revisão de literatura sobre o tema, 6 artigos que tratam de resolução de problemas em física, e 14 artigos sobre resolução de problemas conceituais em física.

A seleção dos trabalhos sobre Ambientes de aprendizagem colaborativa foi feita a partir dos descritores “learning environment”, “cooperative learning” e “science education”. Foram selecionados 19 artigos sobre ambiente de aprendizagem colaborativa de ciências e tecnologia, sendo 16 se tratando de ambientes online, em que 5 destes usavam o termo aprendizagem colaborativa com suporte de computador. Os artigos foram publicados entre 2001 e 2020.

Também foram consultados os periódicos nacionais voltados para o ensino de ciências das áreas de educação e ensino de ciências classificados como A1 e A2 no Qualis da CAPES. Adotando este critério, foram consultados: Ciência & Educação, Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Física, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Caderno Brasileiro de Ensino de Física e Investigações em Ensino de Ciências. A pesquisa nesses periódicos forneceu 8 artigos relacionados ao tema Resolução de problemas em física, publicados no período de 1997 a 2018. Nenhum artigo que tenha no seu título ou palavras-chave a expressão “aprendizagem colaborativa” foi encontrado no período considerado.

2.2. Resolução de problemas em Física

Entre os trabalhos encontrados sobre resolução de problemas em física, destacam-se 3 artigos de revisão bibliográfica: Docktor e Mestre (2014), Ince (2018) e Oliveira, Araujo e Veit (2017).

2.2.1. A revisão feita por Docktor & Mestre (2014)

O trabalho de Docktor & Mestre (2014) é uma síntese da pesquisa em ensino de Física no Ensino Superior. Os autores abordam seis áreas de estudo recorrentes nas pesquisas sobre aprendizagem de estudantes, sendo uma delas resolução de problemas. Na revisão sobre resolução de problemas foram citados 135 artigos, sendo

a maioria publicados entre 1994 e 2014. Todos esses artigos tinham foco específico em pesquisas empíricas no ensino e aprendizagem em graduações em ciências.

Segundo os autores, a pesquisa em resolução de problemas se dá em torno das seguintes questões: (1) Como novatos e experientes resolvem os problemas? Como se comparam as suas maneiras de resolução? (2) Como os estudantes usam exemplos resolvidos para resolver novos problemas desconhecidos? (3) Como as representações (figuras, equações, diagramas) são construídas e usadas durante a resolução de problemas? (4) Como as ferramentas matemáticas são aplicadas durante a resolução de problemas? (5) Como as estratégias de ensino (grupo colaborativo, abordagem conceitual, lição de casa baseada na Web) afetam as habilidades de resolução de problemas?

Os principais referenciais teóricos adotados nessas pesquisas são teorias sobre aprendizagem e resolução de problemas de ciências cognitiva e psicologia educacional. Sendo os principais citados: modelos de processamento de informação, resolução de problemas por analogia, modelo de recursos, jogos epistêmicos e cognição situada.

Em relação aos métodos de coleta e análise de dados dos trabalhos citados, percebe-se que os participantes das pesquisas geralmente são estudantes de graduação matriculados em disciplinas introdutórias do curso de Física, como álgebra e cálculo. Os dados são comumente coletados a partir da produção escrita dos estudantes, da gravação em áudio do pensamento em voz alta durante a resolução do problema, e da categorização de problemas realizadas por estudantes com base na semelhança de solução. As análises dos dados incluíram pontuação das soluções de acordo com critérios específicos e pré-definidos e análise qualitativa.

Os artigos apresentam as seguintes respostas para as principais questões levantadas na pesquisa em resolução de problemas: (1) Há diferenças entre novatos e experientes tanto na maneira de organizar o pensamento de física como na maneira de abordar os problemas. (2) Estudantes usam exemplos resolvidos de formas diferentes, podendo ser um processo profundo ou superficial. Ter acesso a um exemplo resolvido pode ajudar os alunos a reconhecer e explicar seus erros. Sob certas condições, revisar o exemplo resolvido é mais eficaz para a aprendizagem do que realmente resolver um problema. (3) Estudantes usam as representações de forma diferente, e apresentá-las de formas distintas pode fazer com que os estudantes

construam diferentes soluções para um mesmo problema. Descrições específicas da física podem facilitar a resolução do problema. (4) Os estudantes apresentam dificuldades comuns com as habilidades matemáticas necessárias para a resolução de problemas de física e usam equações de forma diferente na física se comparado ao uso na matemática. (5) As estratégias de ensino geralmente são combinadas a problemas alternativos para que apresentem maior eficácia. Os cursos de física podem ser reestruturados para incluir instruções sobre habilidades de resolução de problemas.

Os autores apontam que algumas das lacunas mais proeminentes na pesquisa sobre resolução de problemas incluem pesquisas sobre exemplos resolvidos, representações múltiplas, redução da carga de memória e reforma de currículos e estratégias de ensino para resolução de problemas.

Na revisão de trabalhos aqui retratada, há pouca ênfase a problemas abertos e com foco mais conceitual. A maior parte das pesquisas parece examinar problemas convencionais de livros-texto em física. Em relação as estratégias de ensino para resolução de problemas, embora existam várias, a adoção dessas práticas não é particularmente difundida. Esta pesquisa pode então contribuir para esses aspectos, já que será uma forma de mostrar como grupos colaborativos são empregados em um ambiente de aprendizagem com foco em resolução de problemas conceituais de física.

2.2.2. A revisão feita por Ince (2018)

Ince (2018) apresenta uma visão geral dos estudos sobre resolução de problemas no ensino de física de acordo com o nível do aluno, metodologia, e desenvolvimento do uso de estratégias de resolução de problemas. Para isso, a autora apresenta cronologicamente 42 artigos publicados entre 1986 e 2017. A maioria dos estudos envolvidos são estudos experimentais com grupos de controle submetidos a pré e pós-teste, o que é muito importante para observar a eficácia das estratégias de resolução de problemas quando utilizadas como método.

Os estudos podem ser classificados nos temas: (1) Fatores que afetam o desempenho na resolução de problemas; (2) Estratégias e métodos usados pelos alunos na resolução de problemas; (3) Diferença entre novatos e experientes; (4)

Aquisição de habilidades de resolução de problemas em sala de aula e ambiente de laboratório.

Para cada tema, os estudos apresentam os seguintes resultados: (1) Os fatores que afetam o desempenho de resolução de problemas são o tipo de problema, características dos alunos, o conhecimento de física, conhecimento conceitual, se eles resolveram problemas semelhantes e características metacognitivas. (2) As estratégias de resolução de problemas costumam seguir subetapas, como compreensão do problema, determinação dos conceitos, desenho de diagrama, visualização, uso de equações matemáticas, resolução do problema e avaliação do resultado. (3) Os experientes podem usar estratégias de resolução de problemas de forma eficiente e contínua, enquanto os novatos não. Os experientes tentam primeiro entender um problema considerando as leis e fórmulas da física e, em seguida, tentam resolvê-lo por meio de métodos matemáticos. Por outro lado, os novatos tentam resolver problemas usando primeiro as ferramentas matemáticas. (4) As habilidades de resolução de problemas dos alunos estão relacionadas ao desempenho das subetapas de resolução de problemas. Essas habilidades afetaram os níveis de metacognição, realização, atitudes, motivação, auto eficácia e autoconfiança.

A autora aponta que sua revisão contribui para a literatura de resolução de problemas em física, e tem implicações para a prática do ensino de física. Mais uma vez, os resultados desta revisão apontam lacunas que justificam o foco de nossa pesquisa: contribuições de ambientes colaborativos na resolução de problemas conceituais em física.

2.2.3. A revisão feita por Oliveira, Araujo e Veit (2017)

A revisão bibliográfica realizada por Oliveira, Araujo e Veit (2017) tem o diferencial de focar em pesquisas sobre resolução de problemas abertos no Ensino de Física. Os autores apresentam uma visão ampla da produção acadêmica de 1996 a 2016, e os referenciais teóricos e metodológicos adotados no ensino e na pesquisa relativa a problemas abertos no Ensino de Física. Compõem essa revisão 47 artigos selecionados a partir de uma pesquisa na base de dados ERIC e em outras plataformas de dados e periódicos nacionais e internacionais classificados como A1, A2 e B1 no Qualis 2014 da Capes na área de Ensino.

Os artigos analisados que se tratavam de trabalhos de pesquisa tinham foco nos seguintes temas: aprendizagem colaborativa, resolução de problemas como processo de modelagem, diferenças entre resolução de problemas abertos e fechados, habilidades de resolução de problemas, desafios em resolução de problemas abertos, efeito das abordagens de assistência à aprendizagem, estudo teórico, revisão de literatura. Também foram revisados artigos relacionados a propostas com aplicação e apresentação de propostas.

Quanto aos referenciais teóricos de resolução de problemas abertos no Ensino de Física, os autores constataram prevalecer as concepções de David Jonassen. Alguns artigos não apresentavam um referencial explícito, e outros utilizavam contribuições próprias para definição de problemas abertos e referências a outros trabalhos. A literatura apresenta algumas diferentes definições para problemas abertos, Oliveira, Araujo e Veit (idem) sintetizaram algumas das principais características desse tipo de problema: a) nem todos os elementos do problema são apresentados; b) existem diferentes caminhos de resolução; c) não admitem apenas uma resposta correta; d) incerteza sobre os conceitos a serem utilizados para resolver o problema; e) necessidade de conhecimento de domínio específico e conhecimento procedimental; f) referem-se a um contexto real.

Os artigos geralmente adotam metodologias quantitativa ou de métodos mistos, e com menos frequência metodologias qualitativas. Como metodologia de ensino destacam-se as propostas de discussões em pequenos grupos, ambiente computacional de aprendizagem, as abordagens do tipo lápis e papel e as abordagens investigativas. Nos estudos empíricos, a análise dos dados se dá por análise textual das respostas dos estudantes, análise dos caminhos de raciocínio utilizados para solucionar problemas, captados em vídeo-filmagens, protocolo de avaliação e pré/pós-teste.

Os autores concluem que na literatura há consenso de que os problemas abertos podem contribuir significativamente para uma aprendizagem de conceitos científicos, procedimentos e atitudes, pois, favorecem o trabalho colaborativo e a contextualização do conhecimento científico no cotidiano, promovem uma atitude ativa do estudante e favorece a superação das dificuldades conceituais e epistemológicas por parte dos estudantes.

Uma lacuna apontada na pesquisa em resolução de problemas abertos em física é o número pequeno de trabalhos, já que os problemas abertos não costumam ser implementados em ambientes de ensino tradicionais. O ambiente pesquisado neste trabalho emprega a resolução de muitos problemas abertos em um curso de licenciatura em Física, e sua investigação pode contribuir para o avanço desse campo de estudo.

2.2.4. Estudos sobre resolução de problemas em Física

A maior parte das pesquisas em resolução de problemas em física é empírica. Um trabalho é teórico e outro um relato de experiência.

Algumas das pesquisas tratam de estratégias e abordagens adotadas na resolução de problemas de física (COSTA; MOREIRA, 2001; GOOD; MARIÉS; SINGH, 2019; PEDUZZI, 1997; ROSA; GHIGGI, 2018). E as concepções de professores sobre a resolução de problemas e o ensino de física são identificadas em Sousa e Fávero (2003).

Grande parte dos artigos não mencionam explicitamente o referencial teórico adotado na pesquisa. Shakman e Barak (2019) utilizam a taxonomia revisada de Bloom (Bloom & Krathwohl, 1956), no domínio cognitivo, os Tipos de Taxonomia de Conhecimento (Anderson & Krathwohl, 2001) e a Taxonomia de Solução de Problemas em engenharia (Plants et al., 1980). E Costa e Moreira (2001) se fundamentam na teoria dos Modelos Mentais (Johnson-Laird, 1993; Gentner e Stevens, 1983; Moreira, 1996) e em teorias de processamento da informação (Costa e Moreira, 1996).

Nas pesquisas empíricas, os sujeitos eram predominantemente estudantes de graduação em Física. Também participaram dos estudos estudantes do ensino médio, e em menor número professores de física.

Em relação aos métodos de coleta de dados, as pesquisas empregaram entrevistas, gravações em áudio e vídeo de aulas e momentos de resolução de problemas, materiais produzidos pelos estudantes durante a resolução de problemas, diário de bordo do pesquisador e pré/pós-teste. Já a análise dos dados se deu na maioria dos estudos de forma qualitativa.

As pesquisas apontam alguns fatores que promovem o sucesso dos estudantes na resolução de problemas em física e a aprendizagem através desse processo:

adoção de métodos de ensino de engajamento ativo baseado em evidências (GOOD; MARIAS; SINGH, 2019), desenvolvimento da capacidade dos estudantes em modelar (COSTA; MOREIRA, 2001), e intervenções didáticas de resolução de problemas em física orientadas pela metacognição (ROSA; GHIGGI, 2018).

Outros resultados interessantes indicam que as estudantes mulheres têm melhores atitudes e abordagens para resolução de problemas em física (GOOD; MARIAS; SINGH, 2019), as maiores dificuldades em resolução de problemas envolvem estratégia e conhecimento conceitual (SHAKHMAN; BARAK, 2019), e a resolução de problemas em física em ambiente multimídia promove mais diálogo e colaboração, estimulando os estudantes (SOUZA; BASTOS, 2006).

Sousa e Fávero (2003) apontam que os professores de física veem a resolução de problemas como aplicação da teoria, e o professor como mediador desse processo, cabendo aos próprios estudantes a responsabilidade de obter sucesso nessa tarefa. Para as autoras, essas percepções inadequadas podem ser obstáculos à ação mediadora desses professores, transformando suas práticas docentes em transmissão, através de procedimentos de treinamento. O trabalho de Peduzzi (1997) confirma que essas são percepções inadequadas, mostrando que o professor não deve encarar a resolução de problemas em física como uma atividade na qual o aluno terá êxito por esforço próprio, sem orientação específica. O autor entende que o professor deve atuar como mediador para capacitar o estudante a ter uma visão mais ampla sobre resolução de problemas. E sugere que o professor pode fazer isto valorizando em suas avaliações o registro dos pontos chave no processo de resolução de um problema (análise qualitativa, hipóteses feitas, justificativa de leis e princípios utilizados, análise do resultado e comentários gerais). Nesse sentido, nossa pesquisa pode olhar para a disciplina Física Conceitual como uma disciplina que permite aos professores de física em formação perceberem a resolução de problemas como um processo de aprendizagem significativa, contribuindo para que professores sejam capazes de implementar seu ensino de forma mais efetiva para a promoção da aprendizagem significativa por meio do enfrentamento, em grupos colaborativos e com o devido suporte, de situações problema em física.

2.3. Ambientes de aprendizagem colaborativa

Todos os artigos selecionados para a revisão sobre o campo de estudo de ambientes de aprendizagem colaborativa se tratam de estudos empíricos.

A percepção e avaliação dos estudantes sobre os ambientes online de aprendizagem colaborativa é o tema mais recorrente nas pesquisas em contextos educacionais de ciências e ciências da computação. Alguns trabalhos tratam de resolução de problemas em grupo em ambientes online, a fim de investigar o comportamento e estratégias dos estudantes nesse processo (KRANGE; LUDVIGSEN, 2008; KWON *et al.*, 2019; PAZOS; MICARI; LIGHT, 2010; ÜNAL; ÇAKIR, 2017). Um número menor de pesquisas aborda como avaliar a aprendizagem em grupos colaborativos em ambientes online a partir dos comportamentos e interações dos grupos (PAZOS; MICARI; LIGHT, 2010; VIVIAN *et al.*, 2016). Outros estudos investigam a eficácia de algumas abordagens educacionais adotadas em ambientes online de aprendizagem colaborativa (KAM; HOOP, 2013; REIMANN, 2005).

Outros objetos de pesquisa que identificamos foram práticas de grupo (STAHL, 2017), comunidade de sala de aula e aprendizagem percebida (HAMUTOGLU; GEMIKONAKLI; GEZGIN, 2019), argumentação e conhecimento prévio (LIU; LIU; LIN, 2019) em ambientes online de aprendizagem colaborativa; o papel da orientação de professores nesses ambientes (GERARD; KIDRON; LINN, 2019); uso de múltiplas representações para a aprendizagem em grupos online (NAMDAR; SHEN, 2018); e, aprendizagem colaborativa online baseada em jogos (CONNOLLY; STANSFIELD, 2006).

O conceito de aprendizagem colaborativa não é definido em grande parte das pesquisas, e naquelas em que os autores o definem usam suas próprias concepções e não citam referências. Em boa parte dos trabalhos, não há uma distinção entre aprendizagem cooperativa e aprendizagem colaborativa, sendo tratados como conceitos sinônimos. Em nossa pesquisa, adotaremos o conceito de aprendizagem colaborativa definido por Stamovlasis *et al.* (2006), em que os estudantes trabalham juntos em pequenos grupos a fim de atingirem objetivos de aprendizagem comuns, como chegar à solução de uma questão. Em relação aos referenciais teóricos que fundamentam as pesquisas sobre ambientes de aprendizagem colaborativa,

constatamos que prevalecem as abordagens construtivistas (sobretudo, com base no legado de Piaget) e socioculturais (LEMKE, 2001; VYGOTSKY, 1987).

As pesquisas adotam metodologias de métodos mistos em sua maioria, seguidos de metodologias qualitativas, e com menos frequência metodologias quantitativas. O contexto predominante foi o Ensino Superior (graduação e pós-graduação), seguido do Ensino Fundamental, nenhum estudo foi realizado no âmbito do Ensino Médio. Em relação aos métodos de coleta de dados, as pesquisas fizeram uso de questionários, produção escrita dos estudantes nos chats online e ambientes virtuais, gravações em áudio de vídeo dos momentos de interação, pré e pós teste, avaliações, entrevistas, grupos focais, e observações e notas de campo. Para a análise dos dados foram empregadas técnica de análise temática, análise fatorial, análise de interação, esquema de codificação, análise de conteúdo, análise estatística descritiva e análise multivariada de covariância.

As pesquisas mostram que os estudantes inseridos em ambientes de aprendizagem colaborativa avaliam o trabalho em grupo como útil, agradável e importante para seu desenvolvimento (KEMM *et al.*, 2001); e consideram que o ambiente de aprendizagem colaborativa é favorável para a aprendizagem utilizando tecnologias dinâmicas da Internet e promove a participação ativa, sendo eficaz no desenvolvimento de habilidades pessoais e profissionais (ÜNAL; ÇAKIR, 2017). Os estudantes citam como principais benefícios de ambientes de aprendizagem online o aumento de conhecimento e habilidades, novas amizades, e a flexibilidade da aprendizagem, considerando esse tipo de ambiente favorável para o trabalho em equipe (NICHOLAS; NG, 2009). Eles sentem que aprendem mais com a atividade colaborativa quanto mais claras as instruções do professor e quanto mais interagem e se conectam com outros estudantes (FAJA, 2012).

Na resolução de problemas em grupo em ambientes online, a interação dos grupos pode ser orientada para o indivíduo ou cooperativa (PAZOS; MICARI; LIGHT, 2010), e pode ser orientada para a solução do problema ou para o entendimento do problema (KWON *et al.*, 2019). Segundo Krange e Ludvigsen (2008) os tipos procedimentais de resolução de problemas tendem a dominar as interações dos alunos, enquanto a construção do conhecimento conceitual só está presente onde é estritamente necessário para realizar a solução do problema. A disciplina Física Conceitual investigada nesse trabalho prioriza e torna explícita a construção do

conhecimento conceitual em física, o que pode promover um novo olhar sobre o curso de graduação em Física, que pode ter um objetivo além de garantir que os alunos resolvam problemas pré-definidos pelo currículo, valorizando a construção do conhecimento conceitual.

Stahl (2017) observa que os estudos sobre aprendizagem colaborativa a reduz a representações mentais individuais ou a práticas socioculturais, e que pequenos grupos como unidade de análise são pouco pesquisados. Essa dissertação pode contribuir para diminuir essa lacuna da área ao adotar a atividade de um pequeno grupo como unidade de análise. Nossa abordagem teórico-metodológica nos permite capturar todo o processo de construção de conhecimento do grupo, ao considerar o objeto da atividade, os papéis desempenhados pelos membros do grupo, a organização e divisão do trabalho nesse grupo, os recursos e ferramentas mediacionais utilizados, as regras que conduzem a atividade.

3. REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA SÓCIO-HISTÓRICO-CULTURAL DA ATIVIDADE

Entendemos que o ambiente de aprendizagem da disciplina Física Conceitual se constitui em um contexto social, cultural e histórico específico, e nos preocupamos em considerar as necessidades, motivos e desejos dos sujeitos inseridos nesse contexto. Por essa razão, adotamos uma perspectiva sociocultural na análise desse ambiente de aprendizagem, reconhecendo que a aprendizagem conceitual de física se dá não apenas por processos cognitivos no cérebro humano, mas por processos do corpo todo fazendo uso constante de ferramentas e artefatos materiais no ambiente e interpretando suas próprias ações e seus resultados por meio de sistemas de signos socialmente aprendidos e culturalmente específicos, como a linguagem, diagramas e símbolos matemáticos (LEMKE, 1998).

A pesquisa está fundamentada nos princípios da Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade ou também chamada de Teoria da Atividade (TA), que é uma teoria de aprendizagem baseada nos estudos de Vygotsky, Leontiev e Engeström.

Esta seção apresenta os pressupostos da Teoria da Atividade e seu percurso teórico ao longo do tempo, destacando os principais conceitos e ferramentas teórico-metodológicas que se adequam ao nosso objeto de pesquisa, nos auxiliando a compreender o ambiente de aprendizagem de uma disciplina de Física Conceitual.

3.1. A Teoria da Atividade

A Teoria da Atividade foi iniciada na década de 1920 com estudos baseados na Psicologia Histórico-Cultural, evidenciando a Atividade¹ humana em uma perspectiva que visa conectar a cognição humana e as ações dos indivíduos em sociedade.

Este referencial teórico tem a Atividade humana como unidade de análise da aprendizagem, a qual segundo Leontiev (1981) é coletiva e consciente, movida por uma necessidade que orienta as ações a um objeto. O ser humano planeja suas ações de forma intencional e de acordo com seus objetivos, com o que deseja alcançar.

A Atividade humana está inserida no sistema de relações da sociedade, nos fazendo entender que o indivíduo não pode ser compreendido fora de seu ambiente cultural, e a sociedade não pode ser compreendida sem as ações de indivíduos que usam e produzem os artefatos culturais (ENGESTRÖM, 2015). Assim, a Atividade humana é essencialmente coletiva e pode promover mudanças tanto na sociedade quanto nos indivíduos que fazem parte dela.

Ao utilizar a TA para analisar a Atividade de estudantes e professores em contextos educacionais, devemos considerar que a aprendizagem ocorre de forma coletiva, os sujeitos se influenciam através de suas relações e suas ações são mediadas por artefatos (materiais e simbólicos). Deste modo, para análise da Atividade humana, não basta uma descrição do que fazem os sujeitos, mas importa considerar o contexto social e institucional em que atuam, o objetivo e objeto de sua Atividade, a divisão de trabalho, as regras, a comunidade, os artefatos mediadores e a produção de sentidos e significados.

3.2. As gerações da Teoria da Atividade

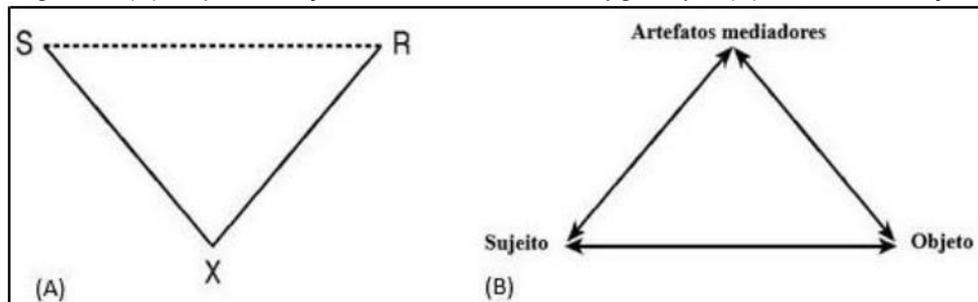
Engeström (2001) considera que a Teoria da Atividade evoluiu através de três gerações de pesquisa.

A primeira geração é centrada nos trabalhos de Vygotsky, que considera que as Atividades humanas, que nos permitem construir sentidos e significados ao mundo

¹ A palavra “Atividade” escrita com a inicial maiúscula neste trabalho está relacionada ao conceito abordado pela Teoria Histórico Cultural da Atividade, que considera a atividade humana em um contexto mais amplo e não como uma simples tarefa a executar.

em que vivemos, são sempre mediadas por artefatos culturais. Essa ideia é geralmente expressa graficamente como uma tríade de sujeito, objeto e artefato mediadores, conforme mostra a Figura 1(B).

Figura 1: (A) Representação do ato mediado de Vygotsky e (B) sua reformulação.



Fonte: Engeström (2001, p. 134).

A mediação acontece por meio de um “elo intermediário” (VYGOTSKY, 1987), que pode ser ferramentas culturais e psicológicas ou ferramentas materiais.

Para Wertsch (1998), as ferramentas e artefatos materiais não moldam apenas nossas ações sobre o ambiente, mas também a nós mesmos ao interferirem nos nossos processos mentais. Por essa razão, o autor suaviza a distinção entre ferramentas materiais e psicológicas ou culturais, substituindo essas expressões pelo conceito mais amplo de recurso mediacional. Ele ainda considera que é característico da ação humana empregar meios mediacionais que são fornecidos por um cenário sociocultural particular e, portanto, toda ação especificamente humana é uma ação mediada.

A inserção de artefatos culturais mediadores nas ações humanas foi muito importante para ampliar as possibilidades de análise da aprendizagem, já que até então a unidade básica de análise era centrada ou no sujeito ou no objeto. Para Engeström (2001) a limitação desta primeira geração consiste em permanecer considerando o indivíduo como unidade de análise da aprendizagem humana.

Esta limitação é superada pela segunda geração da TA, que é formada em torno das ideias de Leontiev, e passa a considerar a Atividade humana como unidade de análise. Para Leontiev (1981) a Atividade humana tem natureza coletiva, é movida por uma necessidade e está orientada a um fim consciente denominado como objeto da Atividade. O motivo da Atividade é o que impulsiona o sujeito em direção ao objeto com o interesse de transformá-lo ou para satisfazer a necessidade. Assim, toda Atividade tem um motivo, o qual se liga estreitamente ao objeto da Atividade, não sendo possível haver Atividade sem um objeto.

O autor evidencia a diferença entre uma ação individual e uma Atividade coletiva utilizando o exemplo da “caça primitiva” (LEONTIEV, 1981, p. 210). No entanto, Leontiev nunca expandiu o modelo original de Vygotsky em um modelo de um sistema de Atividade coletiva.

No exemplo da “caça primitiva”, Leontiev (1981, p. 210) apresenta a caça como a Atividade dos sujeitos, que são movidos pelas necessidades de se alimentar ou de se vestir com a pele do animal. Para satisfazer essas necessidades os sujeitos organizam-se em grupos, onde são responsáveis por realizar diferentes ações como planejar a emboscada, espantar e direcionar a caça, abater o animal. Estas ações, por sua vez, não estão conectadas diretamente com o objetivo de obter alimentos e vestimentas, mas estão dirigidas aos seus próprios objetivos. A Atividade só é completa quando as diferentes ações dos sujeitos são realizadas. Para Leontiev, processos que estão direcionados a objetivos específicos são chamados de ações, componentes fundamentais da Atividade.

Ainda no exemplo da “caça primitiva”, o grupo responsável por abater a caça pode fazer isso de diversas maneiras, a depender das ferramentas que possuem, das características do animal e de todas as condições de realização de tal ação. A essas maneiras é dado o nome de operação, que sempre dependerá das condições de realização da Atividade oferecidas pelo ambiente no qual a Atividade se desenvolve.

Assim, a Atividade proposta por Leontiev foi estruturada em três níveis hierárquicos: no primeiro nível está a própria Atividade, direcionada a um motivo; no segundo nível temos as ações, direcionadas a objetivos específicos; e no terceiro nível vêm as operações ou rotinas, que são os meios de concretização das ações, sendo este o nível de base. O estudo de uma Atividade a partir desses três níveis de análise da Atividade humana permite reconhecer sua estrutura e acompanhar sua evolução, compreendendo sua expansão no tempo e espaço histórico em que se desenvolveu.

Michael Cole (1995) apontou como limitação da segunda geração a insensibilidade em relação à diversidade cultural. A internacionalização da TA faz surgir questões de diversidade e diálogos entre diferentes tradições e perspectivas culturais (ENGESTRÖM, 2001). Os desafios trazidos por essas questões fazem surgir a terceira e atual geração da Teoria da Atividade, centrada principalmente nos estudos de Engeström.

Esta geração busca desenvolver ferramentas conceituais para entender diálogos, múltiplas perspectivas, e redes de interação entre Sistemas de Atividades. Sendo que um Sistema de Atividade pode ser descrito como um acontecimento de longa duração, capaz de gerar ações e outros acontecimentos e que se desenvolve em um extenso período de tempo sócio- histórico (SOUSA, L. P. DE, 2020).

Engeström (1987) retoma as ideias de Leontiev e expande graficamente o modelo triangular de Vygotsky de ação mediada para representar um Sistema de Atividades coletivas, como mostrado na Figura 2. Nesse novo modelo, Engeström acrescenta outros componentes na estrutura do Sistema de Atividades além da interação entre sujeito e objeto mediada pelos artefatos, como a comunidade, as regras e a divisão de trabalho.

Figura 2: Modelo para um Sistema de Atividade humana.



Fonte: Engeström (2001, p. 135).

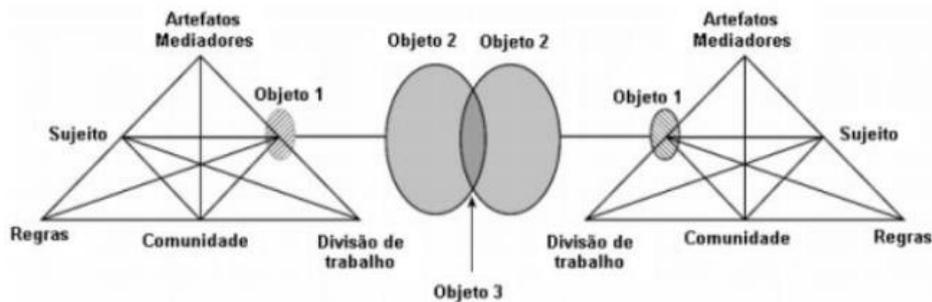
No sistema mostrado acima, o *sujeito* é o indivíduo ou grupo de pessoas, de acordo com a perspectiva de análise. O *objeto* é a “matéria-prima” ou “espaço-problema” ao qual a Atividade se direciona. O objeto é um convite à interpretação, formação do sentido pessoal e transformação social (ENGESTRÖM, 2016). O objeto é transformado em resultado com a ajuda dos *artefatos* (ferramentas materiais) e signos (ferramentas psicológicas) que medeiam as ações sobre o objeto. A *comunidade* refere-se aos indivíduos que compartilham o mesmo objeto. A *divisão do trabalho* diz respeito à divisão horizontal das tarefas e à divisão vertical do poder e status. As *regras* se referem às normas e convenções explícitas e implícitas que regulam as ações dentro de um Sistema de Atividades.

A representação proposta por Engeström é uma ferramenta importante e útil por evidenciar a influência mútua entre os elementos da Atividade através das setas bidirecionais (Figura 2), possibilitando a operacionalização da teoria na prática. Apesar disso, possui a limitação de não ressaltar a dinamicidade e complexidade dos

Sistemas de Atividades, que se modificam à medida que se desenvolvem. Um Sistema de Atividade não deve ser visto como um sistema estável, ele pode ser alterado a qualquer momento, modificando até mesmo o seu objeto.

Engeström (2001) expande o modelo básico da Atividade incluindo na unidade de análise no mínimo dois Sistemas de Atividade interagindo. Nesta representação, o objeto se move de um estado inicial de “matéria-prima” (objeto 1) para um objeto coletivamente significativo construído pelo Sistema de Atividade (objeto 2), e para um objeto potencialmente compartilhado ou construído em conjunto (objeto 3). Isso nos permite reconhecer o objeto da Atividade como um alvo móvel, não redutível a objetivos de curto prazo.

Figura 3: Representação de um modelo de interação de dois Sistemas de Atividades.



Fonte: Engeström (2001, p. 136).

O autor ainda estrutura a Teoria da Atividade em cinco princípios: unidade de análise, multivocalidade, historicidade, contradições como condição de mudança, e aprendizagem expansiva da Atividade.

O primeiro princípio é que em um Sistema de Atividade coletivo, mediado por artefatos e orientado a objetos, visto em suas relações de rede com outros Sistemas de Atividade, a própria Atividade é tomada como unidade de análise. Na Atividade, as ações e operações são unidades de análise relativamente independentes, mas só fazem sentido quando interpretadas no contexto do Sistemas de Atividades, não podendo ser vistas de forma individualizada. Os Sistemas de Atividade se realizam e se reproduzem gerando ações e operações.

O segundo princípio trata da multivocalidade dos Sistemas de Atividade. Em um Sistema de Atividade, a comunidade é formada por diferentes indivíduos, com pontos de vista, costumes e interesses particulares. A divisão do trabalho faz com que os participantes assumam múltiplos papéis na Atividade, cada um deles carregando suas próprias histórias. Além disso, o próprio Sistema de Atividade carrega histórias e valores gravados em seus artefatos, regras e convenções. A multivocalidade é

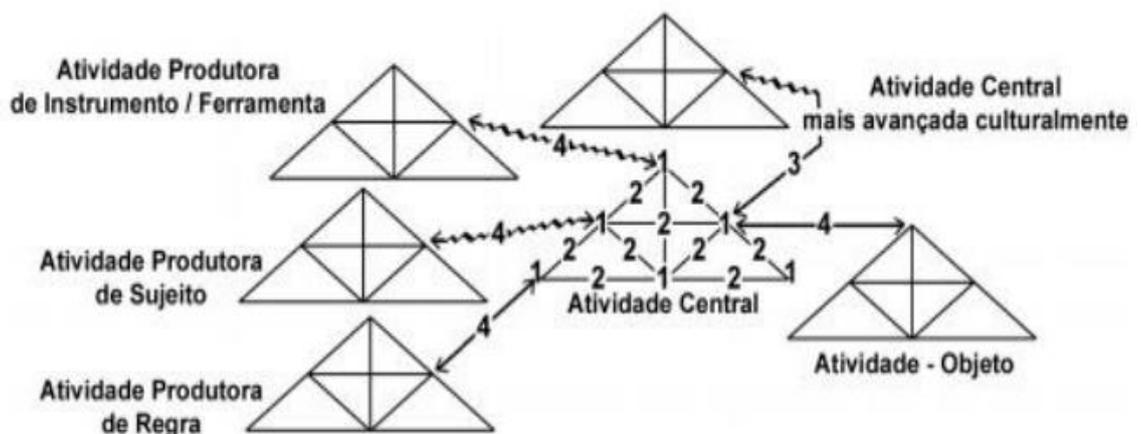
multiplicada em redes de Sistemas de Atividades interagentes, como a mostrada na Figura 3, e faz com que todas as vozes sejam conflitantes e complementares, exigindo negociações constantes entre os sujeitos.

O terceiro princípio é a historicidade. Os Sistemas de Atividade se moldam e se transformam ao longo do tempo. Seus problemas e potenciais só podem ser entendidos em relação à sua própria história, a partir do estudo dos sujeitos, do contexto, das ideias teóricas e ferramentas que modificaram a Atividade.

O quarto princípio é o papel central das contradições como fontes de mudança e desenvolvimento da Atividade. Contradições são mais do que problemas ou conflitos, são tensões historicamente acumuladas dentro e entre os Sistemas de Atividade. Ao tratar do conceito de contradição, Engeström (2016) se ancora nos estudos de Marx, nos quais a contradição fundamental surge da divisão do trabalho. No capitalismo, a contradição adquire a forma geral de mercadoria. Mercadoria é um objeto que possui valor (ou seja, valor de troca) e não apenas, nem principalmente, valor de uso. A contradição essencial é a exclusão mútua e a dependência mútua simultânea entre o valor de uso e o valor de troca em cada mercadoria (ENGESTRÖM, 2016 p.109-112).

Ao analisar a Atividade humana, Engeström (2016) aponta quatro níveis ou quatro camadas diferentes de contradições, que podem ser ilustrados com a ajuda da Figura 4.

Figura 4: Quatro níveis de contradições dentro do Sistema de Atividade humana.



Fonte: Engeström (2016, p. 116).

As contradições primárias ou contradições internas são aquelas presentes dentro de cada componente constituinte da Atividade central. As contradições secundárias estão associadas a tensões entre os constituintes da Atividade central. As contradições terciárias acontecem entre o objeto/motivo da forma dominante da

Atividade central e o objeto/motivo de uma forma da Atividade central culturalmente mais avançada. As contradições quaternárias são aquelas que ocorrem entre a Atividade Central e suas Atividades vizinhas.

Tais contradições geram distúrbios e conflitos, o que leva os sujeitos a questionarem suas práticas e começarem a se desviar de suas normas estabelecidas. Em alguns casos, isso se transforma em visão colaborativa e um esforço coletivo deliberado de mudança, o que impulsiona o desenvolvimento da Atividade, possibilitando transformações expansivas da Atividade, o quinto princípio proposto por Engeström. Uma transformação expansiva é realizada quando o objeto e o motivo da Atividade são reconceitualizados para abranger um horizonte de possibilidades radicalmente mais amplo do que no modo anterior da Atividade, superando contradições. Nesse processo expansivo da Atividade, o sujeito é transformado de indivíduo isolado em coletivos e redes, emergindo uma forma de aprendizagem denominada aprendizagem expansiva. É importante frisar que as contradições são o motor necessário, mas não suficiente para a aprendizagem expansiva em um Sistema de Atividade. As contradições tornam-se as reais forças propulsoras de aprendizagem expansiva quando tratadas de tal forma que um objeto emergente é identificado e transformado em um motivo.

Nessa pesquisa, consideramos o Sistema de Atividades de um grupo de estudantes em uma disciplina de Física Conceitual como unidade de análise, cujas ações, que são movidas pela necessidade de encontrar uma solução para questões conceituais de física, observam os princípios da multivocalidade, da historicidade e das contradições e transformações expansivas.

Nessa perspectiva, escolhemos a terceira geração da Teoria da Atividade como principal fundamento da pesquisa. Nessa vertente, o Sistema de Atividades não pode ser analisado fora da estrutura social em que está inserido, assim, a TA nos possibilita uma larga lente de análise das aprendizagens que ocorrem no Sistema de Atividade, do nível micro, focado no sujeito, ao nível macro, focado no coletivo, evidenciando interações e conflitos que ocorrem no processo de ensino-aprendizagem que acontece no ambiente pesquisado.

3.3. Aprendizagem expansiva

Engeström e Sannino (2010) definem a aprendizagem expansiva como a aprendizagem em que os aprendizes estão envolvidos na construção e no desenvolvimento de um objeto radicalmente novo, mais amplo e mais complexo e uma redefinição para sua Atividade.

Para estes autores, a ideia central da aprendizagem expansiva é qualitativamente diferente das duas metáforas básicas de aprendizagem: a metáfora da *aquisição*, com viés cognitivista, e a metáfora da *participação*, como nas abordagens socioculturais ou situadas. Ambas mostram o aprendizado principalmente como um movimento de via única que vai da incompetência à competência, com pouca análise séria dedicada ao movimento horizontal e de hibridização. Já na aprendizagem expansiva, os alunos constroem um novo objeto e conceito para sua Atividade coletiva e implementam esse novo objeto e conceito na prática.

Engeström (2016) aponta que a teoria da aprendizagem expansiva se baseia nas ideias fundamentais expostas por quatro figuras chave na escola histórico-cultural russa: Vygotsky, Leontiev, Ilienkov e Davydov. Além de ter duas raízes advindas dos trabalhos de Bateson e Bakhtin.

A ideia de aprendizagem expansiva baseia-se na distinção entre ação e Atividade (LEONTIEV, 1981), sendo a aprendizagem expansiva o movimento de ações à Atividade. A Atividade de aprendizagem expansiva é orientada para o objeto, verdadeiro portador do motivo da Atividade. Nela, as contradições são impulsionadoras de transformações e desenvolvimento. A aprendizagem expansiva é um processo inerentemente multivocal (BAKHTIN, 1982) de debate, negociação e orquestração.

Um conceito fundamental sobre aprendizagem introduzido por Vygotsky foi o de zona de desenvolvimento proximal, definido como “*a distância entre o nível real de desenvolvimento conforme determinado pela solução independente de problema e o nível de problema sob orientação de adulto ou colaboração de colegas mais capazes*” (VYGOTSKY, 1978, p.86). Engeström (1987) reorienta este conceito para lidar com aprendizado e desenvolvimento em nível de Atividades coletivas. As zonas de desenvolvimento proximal são entendidas pelo autor como espaços para a transição expansiva de ações para a Atividade. Ou seja, é a distância entre as ações diárias dos sujeitos e a forma historicamente nova da atividade social que pode ser gerada

coletivamente como uma solução à dilemas sociais que não podem ser resolvidos por ações individuais separadas.

Essa ideia é reforçada pela conceituação de níveis de aprendizado de Bateson (1972), principalmente a noção de Aprendizado III e o conceito associado de vínculo por oposição (double bind). Na teoria da aprendizagem expansiva, o conceito de vínculo por oposição pode ser interpretado como um dilema que não pode ser resolvido por ações individuais separadas. Assim, a aprendizagem de nível III de Bateson acontece quando os sujeitos, movidos pelos dilemas, passam a questionar o sentido e significado do contexto e constroem, coletivamente, um contexto alternativo mais amplo. Essa aprendizagem pode ser entendida como o mesmo que a aprendizagem expansiva.

A aprendizagem expansiva é baseada ainda no método dialético de ascensão do abstrato para o concreto de Davydov (1990). Segundo Engeström (2016), este é um método para compreender a essência de um objeto a partir de sua transformação por meio do surgimento e resolução de suas contradições internas. Na Atividade de aprendizagem, a ideia simples inicial (concreto de partida) é transformada em um objeto complexo (uma abstração), em uma nova forma de prática (ascensão ao concreto). Assim, a aprendizagem expansiva é o movimento de ascensão do abstrato para o concreto, culminando na formação de um objeto novo, expandido e de padrão de Atividade orientado ao objeto, criando, assim, uma nova Atividade. A ascensão do abstrato para o concreto é possível por meio de ações epistêmica específicas ou de aprendizado. Juntas, estas ações formam um ciclo expansivo.

Engeström (2001) descreve uma sequência típica e ideal de ações epistêmicas em um ciclo expansivo:

1. Questionamento, crítica ou rejeição de alguns aspectos da prática aceita e dos conhecimentos existentes.
2. Análise da situação, que envolve transformação mental, discursiva ou prática para se descobrir mecanismos causais e práticos do funcionamento da Atividade.
3. Modelagem de novas práticas, ou seja, a construção de um modelo simplificado, explícito da nova ideia que explique e ofereça uma solução para a situação problemática.
4. Exame do modelo, funcionamento, operação e experimentação sobre ele para o entendimento de sua dinâmica, potencialidades e limitações.

5. Implementação do modelo por meio de aplicações práticas, enriquecimentos e extensões conceituais.
6. Reflexão e avaliação do processo.
7. Consolidação de seus resultados em uma nova e estável forma de prática.

O processo de aprendizagem expansiva deve ser entendido como construção e resolução de contradições sucessivamente emergentes. Acontece que nem sempre as soluções para as contradições são encontradas e, nesse caso, o ciclo expansivo não é completo.

Engeström e Sannino (2010) identificaram que o ciclo expansivo de ações de aprendizagem tem sido usado como quadro de interpretação em estudos de processos de transformação relativamente longos e em larga escala. Ao final de um ciclo expansivo, quando um novo modelo de Atividade ficou consolidado e relativamente estável, um novo ciclo pode começar.

Os autores esclarecem que os ciclos em larga escala envolvem numerosos ciclos menores de ações de aprendizagem, miniciclos, que podem surgir dentro de alguns dias ou mesmo horas e podem ser considerados potencialmente expansivos. Os miniciclos potencialmente expansivos de ações de aprendizagem permitem uma micro análise das atividades de sala de aula, possibilitando a identificação de momentos de intensa colaboração ou resolução de problemas que resultam em aprendizagens expansivas (DAVID; TOMAZ, 2015). Por esse motivo, entendemos que a análise de miniciclos potencialmente expansivos de ações de aprendizagem pode nos auxiliar na compreensão da Atividade desenvolvida pelos grupos na disciplina Física Conceitual e seus desdobramentos.

4. OBJETIVO

Retomamos a formulação do objetivo geral da pesquisa, qual seja, examinar, a partir da Teoria Socio-Histórico-Cultural da Atividade, como se organiza, se estrutura e se desenvolve uma disciplina de Física Conceitual como ambiente de ensino e aprendizagem no contexto do ensino remoto.

As questões de pesquisa envolvem diferentes aspectos do Sistema de Atividade proposto por Engeström. A primeira delas refere-se aos recursos medicionais, artefatos culturais simbólicos, que convidam os educandos a acessarem

e significarem aspectos do conhecimento científico na abordagem e busca de soluções a problemas conceituais propostos pelo professor:

- (1) Como os recursos mediacionais disponibilizados pela disciplina aos estudantes são utilizados e ampliados no trabalho dos grupos e com quais intenções?

A segunda questão de pesquisa foca nas condições sociais e institucionais mediante as quais os sujeitos da pesquisa (estudantes de licenciatura) enfrentam as situações problemas propostos pelo professor. Ela envolve, portanto, o exame de como se estruturam as regras, comunidade e divisão de trabalho neste ambiente de aprendizagem:

- (2) Como os grupos se organizam, dividem tarefas e que papéis são exercidos por seus membros e como as diferenças são resolvidas ou trabalhadas nos grupos?

A terceira questão de pesquisa envolve o movimento dos sujeitos em direção ao(s) objeto(s) / motivo(s) da Atividade e da reflexão, posterior à experiência, da efetividade deste ambiente de aprendizagem:

- (3) Como se relacionam os sentidos dessa experiência de formação do ponto de vista dos estudantes (propósitos, potencialidades, limitações) com os sentidos pretendidos pelo professor?

5. METODOLOGIA

Tendo em vista o objetivo dessa pesquisa entendemos que o método qualitativo é o mais adequado para a coleta e interpretação dos dados. A estrutura da pesquisa é a de um estudo de caso, na medida que busca compreensão em profundidade do que se observa, em vez de uma simples descrição. Como estudo de caso, a singularidade do ambiente de pesquisa investigado deve ser claramente colocada, assim como suas características. As extrapolações desta experiência e seus resultados a outros contextos educacionais são deixados a cargo do leitor. No entanto, entendemos que análises e conclusões deste estudo possam servir como ponto de partida para sua readequação contextual tendo, por finalidade, a promoção da aprendizagem em física e a formação de professores.

5.1. Ambiente da pesquisa

O ambiente pesquisado é um ambiente virtual da disciplina Física Conceitual, ofertada em regime remoto para alunos do curso de Licenciatura em Física de uma universidade federal da região Sudeste do Brasil.

A disciplina Física Conceitual foi ofertada como uma disciplina optativa voltada para os estudantes de licenciatura em Física e tem como objetivo rever e aprofundar os conceitos básicos de física com enfoque de Ensino Médio e contextualização no cotidiano, com aplicações em problemas relacionados ao meio cotidiano dos estudantes.

A disciplina aconteceu durante um período letivo especial da universidade, durante a pandemia da Covid-19, com duração de 45 dias (junho a julho de 2020), sendo que, neste período, a instituição permitia, para cada estudante, a matrícula em apenas duas disciplinas. A carga horária total da disciplina foi de 90 horas, com 15 horas semanais, sendo 10 horas semanais em sala de aula virtual e 5 horas em outros ambientes (estudos individuais assíncronos).

No total, foram 31 aulas, sendo uma aula de abertura e apresentação da disciplina, 22 aulas destinadas a atividades em grupo, 3 para aplicação de avaliações escritas e 5 para revisão de conteúdo semanal com esclarecimento de dúvidas. Os temas das aulas foram agrupados em 3 unidades. Na unidade 1 os conteúdos abordados foram cinemática, leis de Newton, momentum, transformação de energia, rotação e gravitação. A unidade 2 incluía temperatura, calor, dilatação, termodinâmica, oscilações transversais e longitudinais e fenômenos oscilatórios. Por fim, os tópicos da unidade 3 compreendiam eletricidade, magnetismo, luz, cores e emissão de luz.

Foram matriculados 16 estudantes, divididos em 4 grupos fixos de 4 estudantes cada. A dinâmica adotada consiste em um primeiro momento de estudos individuais antes de cada aula, por meio da leitura de um capítulo de referência do livro-texto indicado, que será tratado na aula seguinte. Neste momento de estudos individuais, o estudante deve responder a um questionário online sobre sua interpretação do capítulo. Durante a aula relativa àquele capítulo, os estudantes se reúnem em grupo de forma síncrona para resolver questões conceituais fornecidas pelo professor. As respostas às questões devem ser entregues pelo grupo ao final de cada aula e formuladas de forma a serem entendidas por estudantes do Ensino Médio. A cada aula, um dos integrantes do grupo é o redator, ou seja, o responsável pela produção

escrita das respostas. Uma aula por semana foi destinada para uma revisão dos trabalhos da semana, na qual o professor selecionava as questões que se apresentaram mais problemáticas, procurando indicar e corrigir erros e sanar dúvidas dos estudantes. Além do desempenho nos relatórios e nos questionários online, duas provas escritas foram realizadas pelos estudantes (ao final da 3^a e da 6^a semana do curso) e utilizadas como método de avaliação.

5.2. Coleta de dados

Os dados foram coletados, principalmente, por meio de gravações de vídeo de todas as aulas que aconteceram durante a disciplina Física Conceitual. As aulas virtuais foram realizadas na plataforma Google Meet, e a própria plataforma oferecia o recurso para gravação. Tal estratégia de coleta de dados foi escolhida em detrimento de outras, pois, as questões de pesquisa estão focadas em investigar um processo de ensino e aprendizagem, e a gravação de vídeo nos fornece dados de todo o decorrer desse processo, e não só de algumas partes. Apesar disso, nos deparamos com algumas limitações desse método de coleta de dados. Devido à instabilidade na conexão à internet, alguns estudantes mantinham suas câmeras desligadas, dificultando a identificação de recursos não verbais, como gestos e expressões faciais. E algumas vezes, os estudantes faziam anotações na forma de diagramas ou equações compartilhadas com os colegas por meio de grupo de WhatsApp, aos quais nem sempre tivemos acesso.

O recurso prático para gravação das aulas disponibilizado pela plataforma utilizada nos permitiu coletar dados de todas as aulas destinadas a atividades em grupos dos 4 grupos, totalizando 88 vídeos, além de outras 5 aulas destinadas a revisão de conteúdo semanal com esclarecimento de dúvidas. Também foram coletados dados através dos relatórios produzidos pelos grupos a cada aula, com o objetivo de conhecermos os significados e sentidos produzidos durante a Atividade dos estudantes. Estes relatórios foram produzidos em documentos de texto e enviados por e-mail para o professor, que nos disponibilizou tais documentos.

A fim de compreendermos o ponto de vista dos estudantes sobre a disciplina foram realizadas entrevistas individuais com todos os estudantes que se disponibilizaram a participar. As entrevistas foram conduzidas por meio de um roteiro semiestruturado, que foi pré testado com um dos estudantes. A entrevista no formato

semiestruturada foi escolhida pois permite que a ordem das temáticas e questões se alterem no curso da interação entrevistador-entrevistado, gerando um clima de compartilhamento e escuta atenta. Também foram realizadas entrevistas com o professor, ao final da oferta da disciplina, além das muitas conversas informais sobre planejamento e intenções, antes de sua realização.

Para reunir informações de acontecimentos que a meu ver fossem mais marcantes, consideramos que seria mais vantajoso acompanhar um mesmo grupo de modo sistemático durante toda a disciplina. Primeiro, porque não seria possível observar os grupos de forma simultânea, já que cada um se reunia em uma sala virtual distinta e, segundo, por possibilitar a coleta de dados sobre um conjunto de atitudes comportamentais típicas daquele grupo.

Para a escolha do grupo, acompanhei na primeira semana de aula uma reunião virtual de cada um dos 4 grupos. Com base em minhas percepções e do professor da disciplina, decidimos retirar um grupo da pesquisa devido à falta de engajamento dos estudantes durante as discussões, que pareciam mais preocupados em finalizar rapidamente às questões do que em construir boas respostas, muitas vezes utilizando menos que o tempo total da aula para realizar as atividades. Em um outro grupo, observamos que um dos estudantes acabava sempre direcionando a discussão a partir de seus conhecimentos prévios. Ele justifica esse fato devido a ter cursado o Ensino Médio em uma escola particular, que lhe forneceu uma sólida base de conhecimentos em física, enquanto seus colegas, que estudaram em escolas públicas, não tinham um conhecimento tão profundo ou nenhum conhecimento de alguns tópicos abordados nas aulas. Devido a essa relação assimétrica do grupo, optamos por escolher um entre os dois últimos grupos.

Nestes dois últimos grupos as relações entre seus integrantes eram mais homogêneas, e qualquer um deles poderia ser escolhido para observação. Por sugestão do professor da disciplina, ficou decidido que eu acompanharia um grupo que denominaremos aqui como Grupo 1, enquanto o outro grupo seria acompanhado por uma estudante de Mestrado Profissional que está conduzindo uma pesquisa no mesmo ambiente investigado por mim e que faz parte do grupo de pesquisa do qual participo.

Como pesquisadora, acompanhei sistematicamente o Grupo 1 ao longo de todas as aulas da disciplina (encontros virtuais pela plataforma *Google Meet*). Em

geral, me mantinha em silêncio e atenta aos movimentos do grupo² e anotava os acontecimentos que me chamavam a atenção. Estas notas de aula foram utilizadas posteriormente, enquanto observações primárias, no momento em que tornei a assistir a todas as gravações das aulas deste grupo (e, depois também, dos demais grupos), fazendo novas observações e interpretações dos eventos.

5.3. Análise dos dados

Tendo em mente as perguntas centrais deste trabalho, os dados coletados foram organizados a fim de identificar as partes relevantes para análise.

Nos pareceu mais eficaz, para os propósitos desta pesquisa, acompanhar um mesmo grupo de modo sistemático, por permitir ao leitor acompanhar características e estilos de aprendizagem de seus integrantes. O Grupo 1 foi escolhido para ser analisado por ter presenciado sincronamente todas as aulas, o que permitiu mais consistência nas análises. Além deste critério, percebemos ao longo das aulas um alto engajamento de todos os participantes nas discussões, o que pode nos fornecer dados ricos. Havia, ainda, no grupo, alguma diversidade em termos de conhecimento e estudos anteriores sobre os temas das aulas (no Ensino Médio ou no Ensino Superior, uma vez que nem todos eram calouros). No entanto, estas diferenças não impediam que todos participassem ativamente das discussões, mesmo que com diferentes intensidade e formas/estilos de intervenção. Adiante, na seção 7.2, as características de cada um dos integrantes e o modo de organização do grupo serão apresentados com mais detalhes.

O Grupo 1 era composto por 4 estudantes, os quais nos referimos nesta dissertação pelos pseudônimos Jonas, Lucas, Natan e Samuel. Jonas e Natan são estudantes cursando o 2º período do curso de licenciatura em Física, enquanto Lucas cursa o 5º e Samuel o 7º período. Samuel cursou o Ensino Médio em uma escola particular, considera que tem uma base sólida de conhecimentos em física e aspira seguir carreira acadêmica, sendo pesquisador e professor no Ensino Superior. Os outros integrantes do grupo cursaram o Ensino Médio em escolas públicas federais, onde fizeram concomitantemente cursos técnicos. Também consideram ter uma bagagem consistente em física devido à qualidade do ensino nas instituições que

² Apesar do pedido do grupo, procurei não intervir nas discussões. Em poucas ocasiões, fiz pequenas intervenções na forma de perguntas ao grupo, em geral, procurando reorientar sua atividade diante de algum obstáculo.

frequentaram. Eles expressaram o desejo de atuarem como professores no ensino básico, mas considerando também a pesquisa e a docência no Ensino Superior como possíveis caminhos para a carreira profissional.

Todos os encontros do grupo escolhido foram assistidos e anotados uma primeira vez e retomados várias vezes a fim de identificarmos episódios que melhor respondessem às questões de pesquisa. Tais episódios foram transcritos com o auxílio do programa *Transana*, e submetidos a uma análise mais detalhada fundamentada nos princípios da Teoria da Atividade. Estes episódios foram vistos e discutidos pelo grupo de pesquisa composto por mim, pelo orientador e coorientador da pesquisa e por uma estudante de Mestrado Profissional que está conduzindo uma pesquisa com este mesmo banco de dados, a partir de outro referencial teórico, da avaliação formativa. O cruzamento de olhares sobre os episódios auxiliou a compor uma objetividade nas análises.

Na seleção dos episódios, procuramos não perder noção da totalidade das aulas e caracterizar a tipificação daquele evento (frequência e características). Procuramos, ainda, triangular dados de observações diversas corroborando certas conclusões ou, ao contrário, examinando-as em mais detalhe.

Os capítulos 6, 7 e 8 referem-se aos resultados relativos às questões de pesquisa 1, 2 e 3, respectivamente. O capítulo 6 trabalha com episódios de ensino selecionados para análise. Os capítulos 7 e 8, majoritariamente com dados de entrevistas e observações realizadas ao longo das aulas.

6. USO DE RECURSOS MEDIACIONAIS NA RESOLUÇÃO DE QUESTÕES CONCEITUAIS EM FÍSICA

Mendonça (2019) já havia apontado em sua tese que os recursos mediacionais são um elemento da metodologia adotada na disciplina Física Conceitual que possibilita um avanço na Atividade dos estudantes em direção à aprendizagem. Nosso objetivo é então investigar mais profundamente como os recursos mediacionais disponibilizados pela disciplina aos estudantes são utilizados e ampliados no trabalho dos grupos e com quais intenções.

6.1. Recursos disponibilizados e utilizados na disciplina Física Conceitual

Ao analisarmos o ambiente de aprendizagem da *Física Conceitual*, três recursos mediacionais se destacam claramente: a leitura prévia de capítulos do livro de referência (Hewitt, 2015); os problemas conceituais propostos pelo professor a cada uma das aulas e as interações discursivas (gestuais) entre os estudantes do grupo. Além destes recursos, outros vão sendo a eles acrescentados: os estudantes frequentemente recorreram a consultas de texto e imagens na internet; sugeriram raciocínios analógicos, construíram argumentos baseados em eventos cotidianos, esboçaram e compartilharam diagramas e, em alguns casos, esboçaram raciocínios com símbolos matemáticos. Por sua vez, em algumas aulas, diante da necessidade de maior suporte ao trabalho dos grupos, o professor acrescentou atividades com o uso de simuladores virtuais.

O ambiente de aprendizagem colaborativa propiciado pela disciplina Física Conceitual evidencia as potencialidades da organização de estudantes em grupos para a aprendizagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais. O trabalho em grupo permite que sejam criadas oportunidades de discussão e de argumentação, fundamentais para o surgimento de ideias e soluções que dificilmente seriam possíveis durante a aprendizagem individual. Por esse motivo, consideramos que o diálogo é o principal recurso mediacional disponibilizado aos estudantes na disciplina em questão. É a partir do diálogo que os estudantes vivenciam o confronto entre conhecimentos prévios adquiridos ao longo de suas trajetórias acadêmicas e de vida, conhecimentos obtidos através da leitura prévia do livro-texto e novos conhecimentos expostos nas falas dos colegas.

Em entrevista, a estudante Alice cita a importância dos momentos de discussão em grupo para a sua aprendizagem:

Quadro 1 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 1³

Alice: Só da gente ler algo ou algum assunto a gente já acaba pegando algumas informações / a gente já atribui novas informações ao nosso conhecimento / quando a gente discutia / eu acho que isso ficava muito mais nítido pra gente mesmo / porque quando você sabe explicar alguma coisa quer dizer que você conhece bastante dela sabe (?) então eu acho que foi uma forma bem melhor
--

³ Na transcrição, a barra simples (/) indica uma interrupção ou pausa no discurso, quando ela for menor que 2 segundos, e duas barras (//) uma pausa mais longa. O ponto de interrogação entre parênteses - (?) - indica uma mudança de entonação que indica um questionamento.

do que só escrever ou fazer algum resumo ou ler / entendeu (?) eu acho que discutir é uma questão muito importante pra gente poder aprender realmente um determinado conteúdo

Para Alice, o momento do diálogo com o grupo permitia a ela organizar seu pensamento com as múltiplas informações obtidas de várias fontes e também auto avaliar seu conhecimento sobre determinado conteúdo. Sendo o diálogo um potencializador da aprendizagem quando somado a outros recursos, como a leitura do livro.

O livro também é um recurso central que medeia as ações dos estudantes durante a Atividade. Ele é sugerido pelo professor como referência principal sobre os conteúdos abordados nas questões e, assim, os estudantes recorrem a esse recurso constantemente. Muitos dos estudantes o consideram a base do conhecimento construído nas aulas, como é mostrado nos trechos a seguir.

Quadro 2 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 1

Paulo: (...) o próprio livro era meio que a base / ele era tipo o pão pra todo mundo / a base mesmo / extremamente necessário

Quadro 3 – Entrevista com a estudante Beatriz: Trecho 1

Beatriz: E o livro foi um grande apoio / um apoio que a gente teve pra entender o que seria falado / teve vários exemplos dentro do livro pra gente entender o que aquele assunto tinha a ver com o nosso dia a dia / então foi muito bom / e os questionários também complementou né pra gente entender mais

Quadro 4 – Entrevista com o estudante Pedro: Trecho 1

Pedro: Mas o recurso principal era o livro / que era de onde saia a maioria das informações / apesar de ser bem resumido as coisas // acho que foi muito útil o livro / você lê o livro / e você quer ler mais / você se sente motivado pra continuar lendo / em nenhum momento eu me senti entediado / só em algumas matérias que era as que eu não tinha conhecimento prévio do ensino médio / aí nessas eu senti mais dificuldade / mas em nenhum momento eu me senti assim ah não entendi nada dessa parte // numa seção de um capítulo talvez ah não entendi isso / mas não no capítulo inteiro
--

Fica claro na fala dos estudantes que eles consideram o livro uma ferramenta muito importante para o desenvolvimento do trabalho durante a Atividade, ao fornecer informações que os auxiliem no entendimento de conteúdos de física.

Pedro comenta com mais detalhes sobre sua relação com a leitura do livro-texto, a considerando motivadora (Quadro 4). Ele também considera que a linguagem adotada no texto é de fácil entendimento, e atribui algumas dificuldades encontradas a uma falta de conhecimento prévio sobre determinados assuntos, o que é natural e esperado. Sua colega de grupo, Alice, compartilha de sua opinião de que é uma leitura descomplicada, como relata no trecho mostrado abaixo.

Quadro 5 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 2

Alice: Acho que a leitura do livro foi bem dinâmica / porque diferente dos outros livros que eu tinha lido antes / esse livro parecia que o autor ele conversava com você a todo momento / ele usava de várias analogias do nosso dia a dia pra gente conseguir compreender melhor o mundo dos assuntos da física / e tinha também muitas imagens pra demonstrar de forma mais nítida como que funcionava / então achei bem tranquilo a leitura / bem divertida // tinham alguns exemplos que facilitavam bastante as coisas // eu achei bem útil / porque auxiliou bastante a descrever alguns conceitos que eu não compreendia muito bem / e como essa leitura era um pouco mais facilitada e mais dinâmica / eu acho que foi bem mais fácil

É importante notar que o livro é um híbrido semiótico (carrega consigo diferentes linguagens e modos de comunicar a ciência) e podemos então analisar em maior detalhe os diversos recursos que o livro mobiliza e que são evocados pelos estudantes nos esforços em responder aos problemas conceituais propostos. Assim, por vezes o recurso por eles selecionado é apenas uma figura ou um diagrama do livro; outras vezes, um texto teórico ou ainda uma exemplificação conduzida em parte do texto. Beatriz e Alice citam isso em suas falas, e esse aspecto ficará mais evidente quando tratarmos de forma mais detalhada o uso do livro durante a disciplina na seção 6.2.

Beatriz também menciona os questionários propostos pelo professor como um meio que contribuiu para a aprendizagem. Sobre as questões que formavam os questionários, há um consenso entre os estudantes de que à primeira vista pareciam ser questões simples por envolverem apenas conceitos, mas depois se mostravam desafiadoras no sentido de exigir bastante reflexões na discussão com o grupo. Os estudantes falam sobre isso nos trechos abaixo:

Quadro 6 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 3

Alice: Aparentemente essas questões eram um pouco parecidas com o que eu via no ensino médio / mas depois de ler o conteúdo do livro e discutir com o grupo / a gente percebeu que mesmo elas parecendo simples elas não eram tão simples assim / porque tinha conceitos bem mais aprofundados relacionados a determinado funcionamento de alguma coisa / então algumas questões a gente ficava agarrado / porque a gente achava bem complexo (...)

Quadro 7 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 1

Lucas: (...) não é algo que você bate o olho e sabe a resposta // é algo que você bate o olho e fala pera aí / vamos analisar a situação // então esse é o desafio sabe (?) eu acho que isso é até muito bom na física / nunca a gente bate o olho em alguma coisa e fala ah isso é mole / isso é só fazer isso / não / você tem que parar e pensar / pô essa situação / então tal tal e tal // eu acho que esse tipo de questão é muito bom / eu acho esse desafio muito bom / porque estimula que você se interesse mais pelo assunto / e que você não dê uma resposta como se você já soubesse / dê uma resposta do que você construiu no seu raciocínio // acho que uma resposta boa pra mim é você receber uma resposta que a pessoa construiu no raciocínio dela e concluiu aquilo // então acho que essas questões são exatamente isso / todas as questões você tinha que construir um raciocínio e chegar na afirmativa da pergunta / ou afirmar o que a pergunta queria ouvir // então pra mim as perguntas também foram excelentes em todos os sentidos

Em sua fala, Lucas avalia de forma positiva o desafio gerado pelas questões. É um desafio que leva os estudantes a construírem novos conhecimentos a partir do desenvolvimento de respostas para as questões.

Um outro aspecto das questões que é avaliado positivamente pelos estudantes é o fato de abordarem assuntos e proporem reflexões que não são comuns na maioria dos cursos de Física, e são muito interessantes. Consideramos que a disciplina Física Conceitual é muito bem avaliada pelos estudantes justamente por essa característica, de permitir que a física seja pensada de uma maneira muito mais próxima das nossas vivências cotidianas. Isso fica evidente nas falas de Samuel e Fernando trazidas a seguir.

Quadro 8 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 1

Samuel: (...) o nível delas (questões) tava bom / era legal resolver sabe (?) tinha coisa que você nunca tinha parado pra pensar / tipo / às vezes era coisa boba / coisa simples / mas que era bem interessante

Quadro 9 – Entrevista com o estudante Fernando: Trecho 1

Fernando: Eu achei as perguntas bem desafiadoras / porque normalmente a gente não pensa na física dessa forma / e tem umas perguntas que são muito simples só que a resolução delas é muito complicado de você pensar / ah por que o céu é azul (?) mas tem algumas questões muito simples que geram uma discussão bem grande que acho que faz com que o curso fique muito mais rico

Para superarem os desafios trazidos pelas questões, muitas vezes os grupos precisaram buscar novos recursos mediacionais que não foram disponibilizados pelo professor para os auxiliarem em suas ações. O contexto do ensino remoto acabou por favorecer a internet como ferramenta de busca desses novos recursos, como vídeos, imagens e valores de referência. Os recursos que são visuais ajudam os estudantes a superarem dificuldades relacionadas à abstração dos textos teóricos, como relatado por Lucas e Natan nos trechos abaixo:

Quadro 10 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 1

Natan: Eu acho que ajuda a raciocinar / acho que é mais fácil você visualizar uma imagem / um vídeo / do que só apenas lendo o negócio // mais fácil de pensar

Quadro 11 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 2

Lucas: o mais interessante pra mim são os vídeos / o vídeo mostra a realidade / e a realidade pra mim é muito importante na matéria / você conectar o que você tá aprendendo no livro com o que tá acontecendo na vida real

Outros recursos utilizados pelos estudantes a fim de visualizarem os fenômenos estudados para melhor compreensão foram os simuladores e laboratórios virtuais. Sobre esses recursos, os estudantes opinam nos trechos abaixo.

Quadro 12 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 3

Lucas: As simulações dá uma ampla visão / sabe (?) é diferente você ver um circuito no papel e um circuito na simulação // ali você tá vendo o que vai acontecer / porque uma luz tá fraca e a outra não / então a simulação acho que também foi muito importante

Quadro 13 – Entrevista com a estudante Beatriz: Trecho 2

Beatriz: Então / tinha aquele simulador né / que a gente simulava como que seria / e ele ajudou muito / porque às vezes a gente precisa ver pra gente conseguir entender / então quando tinha pra gente utilizar esse simulador nas atividades foi muito bom

Quadro 14 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 4

Alice: Quando a gente tinha o material a gente fazia o próprio experimento mesmo / eu acho que foi bem interessante isso / porque às vezes é um pouco mais palpável do que só uma leitura no texto ou simulação no PhET / apesar de que eu acho que a simulação eu achava bastante interessante pra alguns assuntos que a gente não conseguia reproduzir / como eletricidade / então eu achava que lá mostrava de uma forma bem mais palpável assim / que a gente conseguia enxergar como é que funciona realmente / mas eu achei bastante interessante a utilização dos simuladores e essas espécies de experimentos que a gente tentava fazer

Alice cita na sua fala anterior (Quadro 14) que além de simularem experimentos utilizando as simulações e laboratórios virtuais disponíveis no Portal PhET, seu grupo reproduzia aqueles experimentos que eram possíveis com materiais simples que eles possuíam em suas casas. A experimentação com materiais acessíveis não foi um recurso pensado pelo professor para ser disponibilizado aos estudantes na oferta dessa disciplina, mas depois do andamento das aulas e avaliação de tudo que foi proposto e dos resultados obtidos, o professor chega à conclusão que a experimentação seria mais um ótimo recurso para o tratamento conceitual da física:

Quadro 15 – Entrevista com o Professor: Trecho 1

Professor: Coisas por exemplo que eu penso em evolução pra Física Conceitual / eu acho que a gente tinha que ter coisas experimentais ali na Física Conceitual / quando eu der ela presencialmente eles vão ter que discutir algum experimento / alguma coisa que eu vou trazer ali pra poder ter aquele desafio / pra que esses alunos possam ter dúvida de coisas que eles estão fazendo ali // então isso que acho que seria uma grande evolução da Física Conceitual / de sair daquelas perguntinhas do papel que você só fica imaginando / e ter coisas ali pra experimentar / pegar os experimentos que tradicionalmente dão errado nos laboratórios de física e trazer pra dar errado / eu quero que dê errado / é claro que não dá errado / é diferente do esperado / e eu quero que eles discutam o porquê deu diferente do esperado / porque a natureza não pode estar errada / nossa interpretação que tá equivocada sobre aquele fenômeno né / mas o que tá errado ali é muito legal de se discutir / então se eu tiver a oportunidade um dia de dar essa disciplina / eu pretendo trazer mais coisas experimentais / um pouco mais de vídeos / trazer mais análises de filmes // a gente tá na luta pra deslocar essa física das conjecturas e trazer essa física pra um mundo de possibilidades diferentes / eu acho que trazer experimentação e vários outros recursos seja um jeito também de você começar a pensar nessa física aplicada ali né / de pensar a física em uma outra situação / em uma situação mais próxima do cotidiano / isso eu acho que é uma evolução que eu faria da Física Conceitual

No decorrer das aulas, o professor transitava entre as quatro salas virtuais onde cada um dos quatro grupos se reunia a fim de tirar dúvidas e dar direcionamentos quando necessário. Essas intervenções do professor muitas vezes modificavam as

ações dos estudantes e são, portanto, um recurso mediacional. Os trechos abaixo trazem a avaliação dos estudantes sobre esse recurso.

Quadro 16 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 4
Lucas: Intervenções muito boas / das vezes que ele ajudou orientou muito a gente / e assim / como a gente tá na situação do ensino remoto / infelizmente é assim / não dá pra chamar ele do outro lado da sala e falar dá um passinho aqui // então mesmo à distância acho que ele conseguiu suprir em todos os grupos a necessidade das pessoas na hora da dúvida e tal

Acompanhar o trabalho dos quatro grupos de forma remota foi de fato um desafio para o professor, que precisou recorrer a mais de uma tela de computador para conseguir visualizar a imagem de todos os grupos. Ouvir todos ao mesmo tempo também não era possível, já que a sobreposição de vozes tornaria os diálogos confusos. Assim, o professor adotou a estratégia de permanecer em cada sala virtual por alguns minutos, de forma que transitava entre os grupos acompanhando as discussões e dando dicas e direcionamentos algumas vezes durante as aulas. Ele também estava sempre atento aos chats disponíveis em cada sala virtual, que era um meio que os estudantes utilizavam para chamá-lo em caso de dúvidas. Como Lucas menciona em sua fala no trecho anterior (Quadro 16), apesar dos desafios enfrentados pelo professor no ensino remoto, ele cumpriu bem seu papel de orientar e mediar o conhecimento, conseguindo atender todos os estudantes.

Os momentos em que o professor permanecia dentro de uma sala virtual era quando os estudantes expunham suas dúvidas e questionamentos e o professor aproveitava ainda para fornecer mais elementos para enriquecer as discussões. Assim, as intervenções do professor no trabalho dos grupos aconteciam pontualmente nesses momentos, e Samuel avalia esse aspecto positivamente em sua fala mostrada abaixo.

Quadro 17 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 2
Samuel: Acho que era bem interessante / o Professor sempre ia no grupo pra falar algo pra acrescentar / lógico que tinha dia que a gente tava mais inspirado e não precisava tanto da ajuda dele / tinha dia que a gente precisava mais / então eu acho que foi interessante / acho que as intervenções serem pontuais também são boas / porque deixa à vontade pra discutir / por mais que talvez ele tivesse ali escutando o tempo todo / ele aparecia só algumas horas ou outras / acho que era bom pra deixar a gente quebrando a cabeça

Samuel avalia positivamente as intervenções pontuais do professor, pois considera que o grupo ficava na maior parte do tempo livre para discutir e construir

suas próprias ideias e conclusões, sem muita interferência. Ou seja, o professor permitia que os estudantes fossem agentes ativos no processo ensino-aprendizagem, responsáveis pelo desenvolvimento do próprio conhecimento.

Um consenso entre os estudantes é que a forma com que o professor intervinha durante a Atividade agregava muito no processo de construção de respostas para as questões, já que ele não fornecia respostas prontas e sim provocava o grupo com reflexões, a partir das quais os estudantes pudessem encontrar soluções por eles mesmos. Alice e Rodrigo mencionam isso nos trechos a seguir.

Quadro 18 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 5

Alice: Eu avalio de forma muito boa mesmo / porque às vezes a gente tinha alguma dúvida e a gente chamava ele e ele aparecia e não dava a resposta assim / mas levava a gente / direcionava a gente pra um caminho pra gente conseguir encontrar a resposta

Quadro 19 – Entrevista com o estudante Rodrigo: Trecho 1

Rodrigo: Eram positivas / construtivas / tem uma frase que eu acho que o Professor colocou em algum lugar / não sei se a frase é dele / mas é de que o professor / o objetivo do professor é fazer o aluno se questionar / procurar saber / então é colocar a pergunta dentro da cabeça do aluno / e foi exatamente isso que ele fez / e foi algo que eu adoro // eu não gosto de respostas prontas / acho que ninguém gosta né / acho que no fundo ninguém gosta de respostas prontas / então ele colocava questionamentos e eventualmente quando a gente não sabia mesmo ele falava / mesmo assim não parecia que ele tava dando uma resposta / parecia que ele tava guiando a gente a falar uma resposta

Outros recursos que observamos o uso durante as aulas, mas não foram citados pelos estudantes em entrevista foram o software Microsoft Paint, ferramentas matemáticas, gestos, analogias, experiências de vida e conhecimentos prévios.

O destaque perceptível que a leitura do livro-texto tem na disciplina Física Conceitual e o relato dos estudantes sobre a importância desse recurso no desenvolvimento da Atividade neste ambiente de aprendizagem nos despertou o interesse de melhor entender seu uso e os desdobramentos que provoca, o que fazemos na próxima seção.

Mas percebemos que em algumas aulas envolvendo temas mais complexos e novos para grande parte dos estudantes, o professor considera que apenas a leitura do capítulo do livro-texto não seria suficiente para dar suporte para a Atividade autônoma dos sujeitos. Assim, ele decide por utilizar os simuladores virtuais como um recurso adicional que auxiliaria os estudantes a visualizar de forma dinâmica

fenômenos descritos de forma abstrata e representados de modo estático no livro. O uso desse recurso no processo de ensino-aprendizagem de física conceitual nos chamou a atenção, também pelo fato de que a introdução desse recurso nas aulas parece se dar como consequência do ensino remoto e talvez não teria sido considerado em uma oferta da disciplina Física Conceitual no modelo de ensino presencial. Analisamos o uso dos simuladores virtuais com mais profundidade na seção 6.3.

6.2. Livro-texto como recurso mediacional da disciplina Física Conceitual

6.2.1. O livro

O livro-texto adotado na disciplina Física Conceitual é o livro também intitulado Física Conceitual, que é a tradução autorizada a partir do original em língua inglesa da obra *Conceptual Physics*, 12^a edição de autoria de Paul Hewitt, publicado por Pearson Education, Inc., sob o selo Addison-Wesley, 2015. A edição em língua portuguesa desta obra é publicada por Bookman Companhia Editora Ltda.

Para Paul Hewitt (2015), não é possível apreciar plenamente o mundo cotidiano que nos cerca sem compreender as leis da natureza, sendo necessário o estudo da física para aperfeiçoar a maneira como enxergamos o mundo. Isso o motiva a escrever um livro de física que apresenta o conteúdo no nível do Ensino Médio sem formalismo matemático, mas de forma não superficial.

O livro conta com trinta e seis capítulos distribuídos em oito partes, as quais são intituladas Mecânica, Propriedades da Matéria, Calor, Som, Eletricidade e Magnetismo, Luz, Física Atômica e Nuclear, e Relatividade. Cada capítulo inicia destacando uma personalidade, dentre cientistas, professores e figuras históricas que contribuíram para a física e o ensino de física. Ao final de cada capítulo são sintetizados os termos-chave e propostos muitos exercícios. Vários exercícios da seção “Pense e Discuta”, que têm o objetivo de estimular o debate entre os estudantes, são utilizados e adaptados na disciplina Física Conceitual.

No artigo “The Joy of Teaching and Writing Conceptual Physics”, de 2011, Hewitt relata que em 1964 lecionou no City College of San Francisco uma disciplina de física para alunos que não eram de áreas científicas, tendo a missão de mostrar para esses alunos que a física pode ser uma lente através da qual eles não apenas apreciam o mundo, mas o entendem, os permitindo tomar decisões importantes

baseadas em ciência e tecnologia para um futuro melhor para a humanidade. Ao lecionar essa disciplina, ele descobriu que tornar a física atraente para seus alunos que não eram de ciências entrava em conflito com os exemplos do livro-texto adotado, pois a maioria dos alunos tinha aversão a números e os exercícios eram sempre numéricos. Assim, ele se concentrou em ensinar conceitos, usando as equações de física de forma qualitativa.

Hewitt continuou lecionando essa disciplina por muitos semestres e em 1967 e 1968 completou os livros-texto que utilizava com suas próprias anotações, a fim de incluir tópicos não abordados ou dar explicações mais satisfatórias. Em 1969, ele dispensou os livros que utilizava na disciplina até então e decidiu ele mesmo fornecer mais artigos para cobrir o curso. Antes do início do semestre escreveu nove capítulos sobre mecânica, cinco sobre propriedades da matéria, três sobre calor, quatro sobre som, cinco sobre eletricidade e magnetismo, oito sobre luz e dois sobre física nuclear, e quando se deu conta havia escrito um livro completo de 464 páginas com o qual realmente poderia ensinar. Na capa do livro escreveu: “Turn on to Conceptual Physics – A key to understanding your physical world”, ou seja, “Se ligue na Física Conceitual – a chave para entender seu mundo físico”. E para sua surpresa, diversos editores se interessaram em publicar seu livro, que chegou em sua 12ª edição em 2015.

6.2.2. O uso do livro na disciplina Física Conceitual – intenções e finalidades

Os estudantes utilizam o livro-texto e os conhecimentos adquiridos a partir de sua leitura prévia com diferentes intenções. Procuramos identificar estes diferentes propósitos no uso do livro em cada uma das questões respondidas pelo Grupo 1 ao longo das aulas. Para tal, elaboramos algumas categorias iniciais que foram sendo desdobradas ou ampliadas na análise. Deste modo, identificamos as seguintes intenções nas consultas ao texto nas atividades do curso:

- Identificar exemplos e situações descritas que se assemelham à situação da questão e possuem uma explicação que pode auxiliar na construção da resposta de um problema conceitual;
- Identificar e consultar explicações de conceitos e conteúdo teórico que são relevantes para a construção da resposta de uma questão;
- Consultar gráficos, imagens e diagramas que explicam e justificam uma ideia proposta pelo estudante;

- Identificar um exemplo que justifique ou refute uma ideia proposta pelo estudante ou seus colegas;
- Encontrar a resposta para um problema que se encontra no livro de forma explícita;
- Identificar uma equação matemática que auxilie na construção de uma resposta para uma determinada questão.

6.2.3. Direcionamento da Atividade pelo recurso mediacional livro-texto

No nosso Sistema de Atividade, em que um grupo de estudantes tem suas ações movidas pela necessidade de encontrar a solução para uma questão conceitual de física, os recursos mediacionais direcionam os sujeitos (grupo de estudantes) ao objeto da Atividade (a resposta da questão). Com procedimentos semelhantes aos descritos anteriormente, procuramos identificar e tipificar os direcionamentos que o livro-texto possibilitou na Atividade do grupo, sintetizadas a seguir:

- Direcionamento para uma resposta correta por meio de informações disponibilizadas;
- Direcionamento para a resposta correta que se apresentava de forma explícita;
- Direcionamento para uma justificativa da resposta proposta ao confirmar uma hipótese levantada;
- Direcionamento para a exclusão de uma hipótese;
- Direcionamento para uma ideia correta, mas não sendo suficiente para que uma resposta final correta seja entregue ao professor;
- Não direciona para uma resposta correta.

6.2.4. Episódios do uso do livro-texto como recurso mediacional

Nesta seção iremos analisar como o livro-texto é utilizado e articulado com outros recursos mediacionais durante a resolução de questões conceituais de física. Para isso, apresentaremos dados de episódios característicos do ambiente de aprendizagem da disciplina Física Conceitual, e observaremos como o livro intervém nas ações dos sujeitos durante a Atividade.

6.2.4.1. Episódio 1

O episódio 1 aconteceu na segunda aula durante a resolução da questão 2 do questionário, o qual se referia ao segundo capítulo do livro denominado “Primeira lei de Newton do movimento”. O enunciado da questão é mostrado a seguir na Figura 5.

O tempo de discussão acerca da questão foi de 33 minutos, enquanto o tempo para responderem a todo o questionário da aula foi de 2 horas e 15 minutos.

A análise deste episódio nos permite identificar como o conteúdo do capítulo do livro indicado para leitura prévia restringe e direciona a Atividade dos estudantes.

Figura 5: Segunda questão da aula 1. Questionário relativo ao tema Primeira lei de Newton.

2.	Um bloco de massa m está suspenso do teto através de uma corda. Uma corda similar está presa à parte de baixo do bloco, como mostra a figura ao lado. Se Quim der um puxão repentino nessa corda ela quebra, mas se ele puxar a corda devagar, a corda de cima é que quebra. A. Explique por que a corda arrebenta em baixo se ele puxa bruscamente e em cima quando Quim puxa devagar.	
----	--	---

Fonte: Autores.

O episódio se inicia após Lucas ler o enunciado da questão em voz alta para o grupo.

Quadro 20 - Episódio 1: Parte 1			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Jonas	Mano / então tipo assim / você tem uma corda carregando aquela bolinha de metal ali / um bloco né / embaixo dessa bolinha você tem outra corda suspensa	
2	Lucas	É / como se tivesse no teto né	
3	Jonas	Aí por que que quando você puxa rápido a corda de baixo arrebenta (?) bom / porque a primeira corda que tá amarrada no teto e o bloco estão em repouso / eles estão parados / e // quando esses corpos estão no estado tal de repouso ou tal de movimento a tendência deles é continuar naquele estado // então quando você puxa rápido aquela força que você tá fazendo sobre a corda vai ser muito maior na corda que você tá puxando do que no bloco e na corda que tá presa no teto / porque elas tão paradas / elas tem uma certa resistência a esse movimento / a corda de baixo não / porque ela tá solta né	
4	Lucas	Ela tá presa ao bloco né	
5	Jonas	É / não / ela tá presa ao bloco / só que tipo assim / é / se bem que os três tão presos ao teto né	
6	Lucas	Os três tão presos / a diferença é que o que tá acontecendo ali é que se eu boto uma força devagar parece que é como se tivesse envolvendo todo o sistema a fazer o movimento que eu quero / mas se eu boto uma força muito rápida só a parte de baixo / entende (?)	

7	Jonas	Uhum / não / pera aí / isso / verdade // bom / discussões então / eu dei a minha ideia	
8	Natan	Eu não sei	
9	Lucas	Calma aí que eu tô pensando	

Na primeira parte do episódio, Jonas apresenta no turno 3 uma explicação para o fato da corda de baixo arrebentar caso seja dado um puxão repentino nessa corda. Embora a ideia geral para a solução esteja presente em sua fala, reproduz vícios de linguagem comumente empregados no ensino de física, como o uso das palavras “tendência” e “resistência” associadas à Primeira Lei de Newton.

A maneira como aborda o problema, recorrendo a expressões e ideias muito presentes em livros didáticos e aulas de física no Ensino Médio (inércia como tendência) é típica de um estudante iniciante no curso de Física. Ele defende que a corda presa ao teto e o bloco se encontram em repouso porque existe uma tendência de objetos em repouso permanecerem nesse estado, dando a impressão de que esses objetos possuem de certa forma uma “vontade” de permanecerem em repouso. Quando na verdade, esse estado de repouso é devido a uma força resultante nula exercida sobre os objetos.

Esse fato demonstra a ineficiência do ensino por memorização muito empregado no ensino de física. Os estudantes são levados a decorar a definição de fórmulas, postulados e leis, como a Primeira de Lei de Newton, mas não conseguem usá-las na resolução de problemas ou não analisam as partes nem relacionam as partes com o todo, como no caso de Jonas.

Ele parece não convencer os colegas de sua ideia e, por isso, sugere que continuem a discussão.

Quadro 21- Episódio 1: Parte 2			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
10	Samuel	Cara / eu acho que é o seguinte né / vamos pegar aqui e analisar esse problema friamente / a gente tem um problema de duas cordas / elas estão separadas elas não vão compartilhar a mesma tensão do sistema todo porque uma corda vai tá presa numa extremidade / objeto / e vai ter outra / então tipo assim / vamos ter t1 e t1 em cima e t2 e t2 embaixo // beleza / tipo / na hora que eu faço a força bruta eu tendo a estourar uma / eu vou tender a estourar o barbante de baixo / porque a tensão não vai suportar a	Ao dizer t1 e t2 ele se refere às forças de tensão que agem nas cordas de cima e de baixo.

		força né / então a corda vai arrebentar / e na hora que eu faço uma força contínua talvez eu provoco um deslocamento no objeto e esse deslocamento que vai ser responsável por fazer uma força / por fazer um trabalho que vai quebrar a tensão da corda de cima / por isso que arrebenta a corda de cima // é o que eu penso	
11	Jonas	Acho que faz sentido também	
12	Lucas	Vamos pensar nos barbantes de cima e de baixo separados e vamos pensar nas forças que eles estão sofrendo / por exemplo / o barbante de cima está sob o peso do objeto e o barbante de baixo sob a nossa força puxando ele pra baixo com a mão / se você pensar quando você aplica uma força contínua que aumenta / o barbante de cima ele vai romper muito mais fácil porque tipo, ele já tá sob uma tração muito alta / se você der um puxão muito rápido / a força ela não tem tempo de se transferir pro barbante de cima / entende (?) então o de baixo rompe primeiro // você pode dar uma força rápida / até maior do que a tração que o barbante de cima tá sofrendo pelo objeto / mas você não tá dando tempo pra se transferir / entendeu (?)	Faz movimento com a mão para baixo simulando o puxão.
13	Jonas	Entendi	
14	Samuel	Mas qual é a taxa de transferência de uma força (?)	
15	Jonas	É / eu também não sei quanto tempo leva pra isso acontecer / não estudei isso ainda	
16	Samuel	Não / vamos pensar / tipo / que a gente tá em Newton né/ em Newton vai ser instantâneo // a gente vai ter taxa de transferência de força tendo a ver com o tempo em Einstein / pensa num problema do Newton que é o seguinte / sei lá eu dei um peteleco no sol / na mecânica newtoniana o sol foi embora na hora / na mecânica do Einstein relativística vai demorar oito minutos pra chegar a informação na terra de que o sol foi embora / então tipo / eu acho que se a gente for pensar sob a ótica do Newton / a gente não vai ter esse problema da taxa de transferência da força pra o //	
17	Jonas	Tanto o que o Lucas falou quanto o que o Samuel falou tá fazendo sentido / só que tipo / o que o Samuel falou da tensão / é / como a gente tá no capítulo 2 que é inércia / o	

que o Samuel falou realmente eu concordo / só que tipo /
 isso não tá relacionado com o capítulo que a gente tá
 estudando // acho que // se a gente pensar um pouco mais
 a fundo // em primeira mão acho que a gente tem que
 primeiro relacionar inércia pra depois desenvolver / tipo / o
 que inércia tem a ver com isso (?) com certeza tem que ter
 a ver / mas como (?) aí por isso que eu falei aquilo do /
 primeiramente a corda e o bloco de cima estão presos / o
 bloco tá empurrando a corda pra baixo porque tem um
 peso ali e os dois estão em repouso / aí na hora que você
 puxa a corda de baixo / que tipo assim / você tá
 segurando ela / você movimenta ela / então você tem que
 puxar ela pra baixo / ela não tá em repouso / primeiro tem
 que pegar na corda, colocar ela pra cima e depois puxar /
 ela não tá em repouso / na hora que você puxa ela pra
 baixo / tipo assim rápido / como o bloco e a corda estão
 presos lá e eles estão parados e tão em repouso eles tem
 uma certa resistência a serem acelerados / por isso que a
 corda de baixo rompe / mas quando você faz aquela força
 contínua / entra no que o Samuel falou / da tensão / do teto
 / tipo assim a tensão que existe na primeira corda e a
 tensão que existe na segunda corda / que você tá meio
 que tipo assim meio que quando você vai puxando
 devagarzinho é como se você tivesse movendo o sistema
 todo de uma vez / o que a gente pode imaginar é que a
 força de cima / a corda de cima vai quebrar / vai romper /
 você tá fazendo num sistema só / tipo assim tudo ali vai tá
 no mesmo estado de movimento quando você puxa
 devagarzinho

No turno 10, Samuel propõe que analisem as forças que atuam nos barbantes, sendo estas as tensões em cada corda e a força feita pela mão que puxa a corda de baixo. Em sua análise ele conclui que a corda de baixo arrebenta com um puxão repentino, pois, a força do puxão que é direcionada para baixo é maior do que a tensão na corda direcionada para cima, assim, a força resultante também se direciona para baixo arrebentando a corda. Já para justificar o rompimento da corda de cima quando a corda de baixo é puxada devagar, ele introduz de forma confusa o conceito de trabalho de uma força, que seria responsável pelo rompimento.

Lucas segue o raciocínio do colega na análise das forças que atuam nas cordas (turno 12) e acrescenta a variável tempo nessa análise, sugerindo que a corda de baixo arrebenta com um puxão repentino pois não há tempo suficiente para que a corda de cima sofra a ação dessa força.

Os estudantes ouvem atentamente uns aos outros e se posicionam frente ao que foi proposto pelos colegas, de modo a construírem coletivamente uma resposta ao problema proposto. Neste momento, surge uma tensão no Sistema de Atividade, pois cada estudante dá mais importância para determinado conceito para a justificativa da situação apresentada na questão. Para Jonas o conceito que justifica a situação é a inércia, para Samuel a força resultante nas cordas, e para Lucas o tempo no qual a força é aplicada. Existe um conflito entre esses diferentes elementos teóricos, ou seja, uma contradição interna no elemento *artefatos mediadores* do Sistema de Atividade.

Entre os turnos 14 e 16 observamos que os estudantes não mais procuram uma explicação para o fato das cordas arrebentarem com diferentes puxões, mas sim entender a transferência de uma força ao longo do tempo. Em outras palavras, o objeto da Atividade foi deslocado. E a tentativa de superação da contradição indicada gera transformações na Atividade.

O miniciclo potencialmente expansivo associado a essa contradição não se completa, mas apesar disso, as reflexões oportunizadas pela discussão dessa questão dificilmente seriam possíveis em outras situações de ensino, como uma aula expositiva por exemplo.

Ancorado em uma das regras da Atividade, que estabelece que toda aula terá como referência um dos capítulos do livro-texto adotado na disciplina, Jonas argumenta no turno 17 que o conceito que deve ser utilizado para justificar uma resposta para a questão deve estar relacionado ao capítulo de referência da aula: “Primeira lei de Newton do movimento”. É provável que se não fosse essa regra, Jonas não estivesse preocupado com esse fator.

Essa preocupação do estudante dá origem a uma nova tensão, pois, se a resposta para a questão deve se basear apenas em conceitos relacionados à primeira Lei de Newton, não importa o entendimento da transferência de uma força ao longo do tempo. Essa tensão faz com que o padrão da Atividade retorne para aquele em que o objeto é propor uma explicação para a questão. Portanto, nesse episódio, o

recurso mediacional livro associado à sua regra de utilização direciona a Atividade ao indicar o conceito que deve ser empregue na solução da questão.

Quadro 22 - Episódio 1: Parte 3			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
18	Lucas	Pois é / tipo / eu pensei / pra ficar mais claro esse exemplo é só você pegar essa parte do barbante / objeto barbante / sei lá / multiplica por uns 5 / finge que é uns 10 barbantes e 8 objetos / fraga (?) aí tipo / você vai entender melhor dos negócios da tração / que já tá exercendo / quando você puxa rápido não vai fazer diferença e quando você puxa devagar ela se junta e puxa junto	
19	Jonas	Repete por favor / viajei um pouquinho	
20	Lucas	Tipo assim / a gente aplicou uma força contínua que vai aumentando / o barbante de cima vai romper muito mais fácil porque ele já tá sob tração alta porque tem várias coisas em cima dele / mas se você dá um puxão muito rápido / você não tá dando tempo para todos os objetos virem junto com você / entende (?) se você tivesse um milhão de objetos e você desse um puxão rápido / pela lógica não daria tempo dessa força chegar lá / lá em cima	Faz um movimento lento com a mão para baixo se referindo à força contínua e depois um movimento rápido se referindo ao puxão.
21	Jonas	E por que não dá tempo (?) acho que é porque todos esses corpos / esses um milhão de corpinhos que tão sendo amarrados no teto / todos eles estão num estado de inércia / a força resultante ali é zero / por isso que tá todo mundo parado / então ele resiste / por isso que vai demorando pra chegar até lá em cima // então realmente / quando você vai puxando devagarzinho dá entre aspas mais tempo pra essa força ser transferida lá pra cima // bom / vocês querem formular uma resposta em cima disso (?)	
22	Lucas	Pode escrever aí	
23	Jonas	Que que vocês acham Samuel e Natan (?)	
24	Natan	Eu tô pensando no bagulho da tração	
25	Jonas	Eu não acho massa a gente responder sobre o tempo / no tempo que a força chega lá em cima porque esse não é o foco da questão / tá ligado (?) o foco da questão é da inércia que eu falei / do bloco e da corda parados / por isso que eles têm resistência / pra se aplicar uma força eles resistirem a esse movimento // a corda de baixo não tá submetida a essa resistência / a essa inércia	

26	Lucas	Então você quer dizer que a gente puxando devagar a gente vai tá meio que combatendo a inércia / e puxando rápido a inércia tá vencendo a gente (?)	
27	Jonas	Isso / tipo assim / na real / eu sei explicar porque a corda de baixo arrebenta quando você puxa rápido / mas eu não tenho certeza da minha explicação sobre o porquê você puxa devagar e a de cima rompe / eu não cheguei a uma conclusão sobre isso ainda // mas a primeira parte acho que eu consigo responder com a inércia / aí tipo / eu vou montar uma resposta aqui e vocês falam se tá boa / enquanto isso vocês pensam na de cima / por que ela rompe (?)	

Mesmo após a argumentação de Jonas, de que o conceito fundamental para a resposta da questão é a inércia, Lucas insiste na influência do tempo de atuação da força no puxão rápido e devagar (turno 20). Os movimentos de negociação constante entre os sujeitos expressam a multivocalidade do Sistema de Atividade.

Novamente, Jonas volta a dizer que devem focar no conceito de inércia, pois é ele que explica o fato do rompimento da corda de baixo com o puxão repentino. No turno 26, Lucas tenta compreender o que o colega está dizendo, e em sua pergunta apresenta a ideia de inércia como uma força a ser “superada” por outras forças. Segundo Arons (1996), os alunos são levados a pensar erroneamente na inércia como uma espécie de força devido a tendências naturais na fala cotidiana, como por exemplo “a força supera a inércia de um corpo”, que devem ser objeto de atenção e cuidado dos professores.

Quadro 23 - Episódio 1: Parte 4			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
28	Professor convidado	Talvez ajude a pensar nesse problema // vocês tão dizendo que puxando devagar você vence a inércia e puxando depressa a inércia nos vence / pensar o que que é inércia né / o porquê desse efeito do tempo aí interferir nisso / mas deixo aí com vocês	
29	Lucas	Sobre o que ele falou eu penso que a gente tem que pensar que a inércia / é que todo objeto permanece no seu estado de repouso a não ser que uma força resultante não nula seja exercida sobre ele / né (?) esse é o conceito / então a gente teria que pensar sobre // eu	Ao dizer a palavra resistividade faz um gesto com as mãos de entre aspas, dando a

		não sei se é pra focar que a força resultante não vai ser / vai ser nula no caso / e não vai se aplicar / ou se vai ser pequena / muito pequena / e essa resistividade do material vai ser maior / se é nessa linha / não sei	entender que está usando a palavra de forma conotativa.
30	Jonas	O que eu penso é que a força quando você vai puxar a corda pra baixo vai ser aplicada igual nas duas cordas / se puxar rápido ou devagar / a força vai ser igual // só que o problema é que tipo assim / quando você coloca a primeira corda amarrada no teto e o bloco amarrado nessa corda eles estão em inércia / isso é verdade isso a gente já estabeleceu / e a corda de baixo não está em inércia / afinal você tá puxando / ela tá em movimento ali // só que igual eu penso / a força vai ser igual / só que como a corda de cima e o bloco tão em inércia eles têm uma certa resistência a esse movimento / então a corda de baixo não tem essa resistência / então quando você puxa ela muito rápido o que acontece é que a corda de baixo rompe / porque ela não tem essa resistência da inercia // só que eu não sei explicar o porquê quando puxa devagar a corda de cima rompe / eu não cheguei a uma conclusão pra isso aí	
31	Samuel	Eu consigo pensar matematicamente / mas não consigo pensar fisicamente nisso aí	
32	Lucas	É / matematicamente eu já tô pensando / tipo / força peso cancela com a tensão / então tá em equilíbrio / tá em inércia / mas //	Gesticula com os braços representando as forças. Indica que a força peso está direcionada para baixo, enquanto a tensão está direcionada para cima.
33	Samuel	Dá pra gente pensar usando leis de Newton né / força resultante é igual a massa vezes aceleração / só que tem uma relação com tempo nisso aqui né / a gente pode escrever a lei de Newton na forma diferencial / pra ter essa relação com o tempo // e aí se a gente fizer isso a gente vai ter uma equação força resultante / variação de momento sobre variação de tempo / e a gente vai ter	

		o nosso // agora como que a gente vai conseguir relacionar isso pra resolver esse problema (?)	
34	Natan	Pra mim a única justificativa disso aqui é o bagulho com a tensão	
35	Samuel	Mas tem que ser a tensão / não pode ser outra coisa sem ser tensão	
36	Jonas	Mas pera aí / vocês tão discutindo por que a primeira rompe (?)	
37	Samuel	É ué	
38	Jonas	A tá / então a de baixo vocês concordaram comigo (?) eu posso responder aqui (?)	
39	Samuel	Sim / concordo com você / pode responder	
40	Lucas	Tipo assim / eu tô entendendo / mas pra mim já que o negócio é o foco do capítulo / tá focado não em tensão / tá focado em falar por que a força resultante não tá acontecendo / ela tá sendo nula quando você puxa rápido e por que ela acontece (?) por que a força devagar se junta a força de cima e rompe o barbante de cima (?) entendeu (?) se for pra pensar no capítulo a gente nem estudou sobre tensão entre aspas / a gente nem leu sobre isso ainda / mas a gente já sabe // então acho que tem a ver com a força resultante / tenho quase certeza // sei lá / pensa se eu dou um tapinha de 5 newtons e se eu tô dando um tapa constante de 5 newtons sabe (?) é a mesma coisa só que pra baixo / sei lá	
41	Jonas	Vai discutindo aí / que já entro na discussão / tô só respondendo aqui	

Nesta aula havia a presença de um professor convidado, membro do grupo de pesquisa do qual participo, acompanhando a discussão dos estudantes. Ao perceber uma certa estagnação da Atividade dos estudantes, faz uma intervenção de modo a direcionar e impulsionar o trabalho do grupo (turno 28). Sua fala, que é uma fala de autoridade, parece ter sido recebida pelo grupo como um reforço da ideia de Jonas, e acaba por convencer Lucas de que o conceito chave para a resposta é inércia. No turno 30, ao discorrer sobre sua ideia, Jonas aborda a inércia como estado e não como propriedade de um corpo. Essa é uma visão aristotélica do comportamento de corpos,

que tem como premissa a necessidade de aplicação contínua de um empurrão para manter um corpo em movimento (ARONS, 1996). Essa visão gera um pensamento inadequado de que o repouso é uma condição fundamentalmente diferente daquela do movimento, e apenas corpos em repouso possuem inércia.

Assim como em outros episódios, Samuel parece considerar a linguagem matemática indispensável na resolução de problemas em física. Na tentativa de reintroduzir a variável tempo na solução para a questão, ele chega a propor o uso de ferramentas complexas como o cálculo diferencial. O grupo não se engaja nessa ação proposta por ele, pois ela expressa um nível de dificuldade que não os desafia, mas sim os paralisa.

Os colegas confirmam concordarem com a explicação de Jonas para a situação do rompimento da corda de baixo quando esta é puxada bruscamente, mas ainda não chegaram a um consenso do porquê a corda de cima arrebenta quando o puxão é feito devagar.

No turno 40, Lucas apresenta a mesma preocupação de Jonas em se limitarem ao conteúdo do capítulo referência da aula. Em sua fala, o estudante mostra que sabe que está extrapolando o conteúdo do capítulo ao abordar o conceito de tensão e enuncia isso aos colegas. A ideia de sua fala já foi expressada em outros momentos, como no início da discussão no turno 3, mas ele a expressa de forma mais elaborada e acertada ao associar o repouso dos objetos que não se movem com o puxão repentino ao fato da força resultante que age sobre eles ser nula.

Quadro 24 - Episódio 1: Parte 5			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
42	Samuel	Eu acho que a gente tem uma certa inércia associada a esse problema / tipo / vamos colocar que a gente tem uma força de inércia associada a esse bloco / na hora que eu faço uma força constante desde que ela seja constante em módulo eu vou chegar em um ponto que eu vou romper essa inércia nesse bloco e ele vai começar a tendência de movimento dele / uma hora o que vai acontecer (?) essa minha força por ela ser constante ela vai provocar tanta tensão na corda que a tensão na corda não vai suportar ela / certo (?) se eu faço essa força de uma única vez / um puxão / essa tensão na corda não é que ela não vá se transmitir ao sistema de cima / mas ela não vai ser suficiente para romper toda a inércia do sistema / só de uma parte dele / no caso a	

		parte de baixo // pode ser também que eu faça uma força muito grande / grande o suficiente pra sei lá / se eu fizer uma força gigantesca mesmo eu vou conseguir romper esse negócio por cima	
43	Jonas	Eu concordo com a força constante no sistema todo e tal / mas // eu não sei se é constante a palavra certa / porque não vai ser constante se você puxar devagarzinho / você vai cada vez aumentando a força ali / não vai ser constante / ela tá meio que sendo gradual	Redige uma resposta final e a envia para a avaliação dos colegas.
44	Lucas	A resposta para o rompimento da corda de baixo está no princípio de Inércia / no primeiro caso / tanto a primeira corda que está presa ao teto / como o bloco que está preso a essa primeira corda / estão em repouso // o que acontece quando a corda que está suspensa é puxada rapidamente / por não estar em um estado inercial / ela rompe / pois a primeira corda e o bloco apresentam uma resistência à essa aceleração / já a primeira corda / não // quando o puxe é feito de maneira gradual / a aceleração excita todo o sistema até o ponto em que vai vencer toda a inércia do sistema / rompendo o barbante de cima	Lê a resposta enviada por Jonas.
		Todos concordam com essa resposta.	

Mais uma vez há a ideia de inércia como uma força, Samuel chega a usar a expressão força de inércia no turno 42, corroborando a informação que Arons (1996) apresenta de que há uma má compreensão da lei da inércia derivada em grande parte de concepções alternativas de senso comum e "regras" experienciais que a maioria de nós assimila à nossa visão do comportamento de corpos maciços antes de sermos apresentados à física newtoniana.

Na fala de Samuel, também fica mais uma vez evidente como a palavra tendência é enraizada nos pensamentos acerca da inércia, muitas vezes fazendo com que os estudantes entendam os estados de repouso e movimento como uma disposição dos objetos para tal, sem analisar a força resultante sobre esses objetos.

Durante o episódio, percebemos que há uma negociação entre os estudantes para estabelecerem qual o conceito fundamental para a elaboração da resposta para a questão proposta. Algumas tensões emergem dessa negociação, e se acumulam no decorrer da Atividade, culminando em contradições que provocam mudanças na Atividade, deslocando até mesmo seu objeto. O uso do livro-texto como referência para a aula somado a indicação do Professor convidado leva os estudantes a se basearem no conceito de inércia e excluírem a possibilidade de uso de outros conceitos ao proporem uma solução para a questão.

A resposta redigida lida no turno 44 por Lucas e que foi entregue ao professor é apresentada a seguir:

“A resposta para o rompimento da corda debaixo está no princípio de Inércia. No primeiro caso, tanto a primeira corda (que está presa ao teto), como o bloco (que está preso a essa primeira corda), estão em repouso. O que acontece quando a corda que está suspensa é puxada rapidamente, por não estar em um estado inercial, ela rompe, pois a primeira corda e o bloco apresentam uma resistência a essa aceleração, já a primeira corda, não. Quando o puxe é feito de maneira gradual, a aceleração excita todo o sistema até o ponto em que vai vencer toda a inércia do sistema, rompendo o barbante de cima.”

Apesar da compreensão equivocada da inércia como estado, o grupo evolui na solução para a questão, reconhecendo que um puxão rápido acelera apenas a corda debaixo (força resultante que atua no bloco e na corda de cima igual a zero), enquanto o puxão devagar todo o sistema (força resultante que atua no bloco e na corda de cima diferente de zero).

Não observamos a ocorrência de aprendizagem expansiva, já que na contradição identificada o novo objeto não é transformado em um motivo da Atividade, não sendo possível superar tal contradição e expandir o padrão da Atividade. Apesar disso, as flutuações e transformações do objeto da Atividade ocasionadas pelas tensões possibilitaram aos estudantes reflexões que podem provocar em situações de ensino-aprendizagem futuras contradições desenvolvimentalmente significativas.

6.2.4.2. Episódio 2

O episódio 2 é a resolução da questão 8 do questionário 19, referente ao capítulo do livro “Vibrações e ondas”. O enunciado da questão é mostrado na Figura

6. O episódio tem duração de 40 minutos, e aconteceu em uma aula em que os estudantes gastaram 2 horas e 30 minutos para responderem ao questionário proposto pelo professor.

Neste episódio é possível observarmos como os estudantes constroem representações e as utilizam na resolução do problema proposto.

Figura 6: Oitava questão da aula 13. Questionário relativo ao tema Vibrações e ondas.

8	Se o som de um avião não vem da parte do céu de onde ele é visto, isso significa que ele está se deslocando a uma velocidade supersônica?
---	---

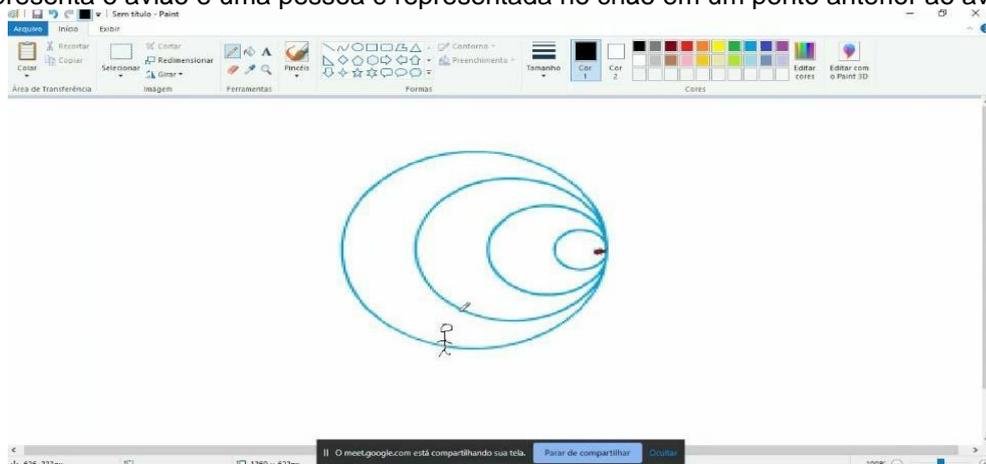
Fonte: Autores.

Jonas lê o enunciado da questão em voz alta para o grupo e a discussão acerca da questão se inicia.

Quadro 25 - Episódio 2: Parte 1			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Jonas	Não significa / tipo // o que acontece / deixa eu compartilhar minha tela aqui // tá vendo aqui Natan (?) tipo assim / vamos supor que esse pontinho preto aqui seja o avião / ele não tá em velocidade supersônica / ele não quebrou a barreira do som / mas ele tá andando com a mesma rapidez da onda que ele tá fazendo // bom / vamos supor que você coloque uma pessoa nesse ponto aqui do chão // você concorda comigo que essa onda aqui de cima ela vai chegar no ouvido desse cara quando o avião já estiver bem à frente (?) dá pra você ver isso quase que visualmente né // e ele não tá em velocidade supersônica / ele não quebrou a velocidade do som // ele não tá mais rápido que a velocidade que ele tava / dada a onda que ele tá produzindo // tá tão rápido quanto / sabe (?)	Compartilha a tela de seu computador, mostrando no software Microsoft Paint a figura 19.18 do livro (Figura 8(a)). Desenha a representação de uma pessoa no chão, e quando diz “essa onda aqui de cima” se refere à onda exatamente acima do desenho da pessoa, onde seu cursor do mouse está posicionado na Figura 7.
2	Natan	Ah / agora que eu li de onde ele é visto	
3	Jonas	De onde ele é visto // o cara tá mais na frente / mas você tá escutando depois // pera / deixa eu ver aqui // não sei se o que eu tô falando tá fazendo muito sentido	
4	Lucas	Tá no livro isso / acho que é sim // olha lá / não tenho certeza / mas tem escrito afirmando qual é a condição pra	

		algo estar na velocidade supersônica / o negócio da onda de choque / estrondo sônico	
5	Natan	“Somente quando a nave se mover mais rápido do que o som é que ocorrerá superposição das ondas que alcançarão nossos ouvidos como um único estouro”	Lê um trecho do livro.
6	Jonas	Então / mas isso tá falando sobre ondas de choque / estrondo sônico // acho que não tá falando muito sobre o que a gente quer	

Figura 7: Desenho feito pelo estudante Jonas no software Microsoft Paint, onde o ponto vermelho representa o avião e uma pessoa é representada no chão em um ponto anterior ao avião.



Fonte: Autores.

Figura 8a: Figura 19.18 do livro-texto em que mostra um padrão ondulatório produzido por um inseto nadando com a mesma rapidez da onda.

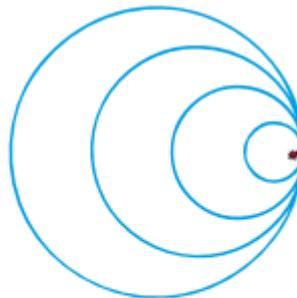


FIGURA 19.18

Um padrão ondulatório produzido por um inseto nadando com a mesma rapidez da onda.

Fonte: Hewitt (2015).

Figura 8(b): Figura 19.19 do livro-texto em que mostra um padrão ondulatório produzido por um inseto nadando com uma rapidez maior do que a da onda.

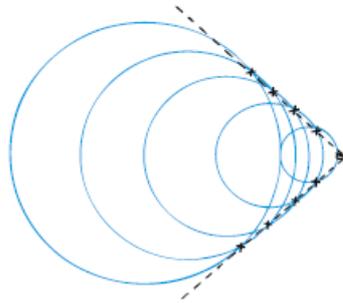


FIGURA 19.19
Uma onda de proa, ou seja, o padrão formado por um inseto que nada mais rápido do que a onda se propaga. Os pontos em que ondas adjacentes se superpõem (assinalados com "x") produzem uma forma em "V".

Fonte: Hewitt (2015).

Jonas prontamente dá uma resposta negativa para a pergunta da questão, e para justificar sua resposta faz uma analogia da situação da questão com a situação de um exemplo apresentado na Figura 19.18 do livro-texto (Figura 8(a)). Neste episódio, a figura presente no livro-texto direciona a Atividade dos estudantes, mas veremos adiante que a mediação desse recurso não é suficiente para que um miniciclo potencialmente expansivo de ações de aprendizagem seja suficientemente desenvolvido.

No turno 1, Jonas propõe que o padrão ondulatório apresentado na Figura 8(a), que é produzido quando um inseto está nadando tão rápido quanto a onda que ele gera, também é produzido por um avião que voa à velocidade do som. Ele utiliza essa figura para fazer um novo desenho (Figura 7), acrescentando a presença de uma pessoa, que só ouvirá o som do avião quando ele já estiver bem à frente. Ao reproduzir esta figura do livro-texto, Jonas argumenta que o avião não precisa estar se deslocando a uma velocidade supersônica para que o seu som seja ouvido em um ponto diferente do que ele é visto.

A seção do livro que trata sobre velocidades supersônicas de aeronaves é a seção "Ondas de choque", que apresenta os conceitos de onda de choque e estrondo sônico. E é a esta seção que Lucas parece se referir no turno 4, alegando que a explicação para a questão teria relação com estes conceitos. Mas no turno 6, Jonas contesta essa relação.

Até este momento, os estudantes se movimentam para a produção de uma resposta para a questão, buscando recursos no livro-texto que os auxiliem nisso. A

introdução dos conceitos de onda de choque e estrondo sônico por Lucas faz emergir a primeira tensão no Sistema de Atividade, evidenciando diferentes pontos de vista sobre o uso desses conceitos na resolução da questão.

Quadro 26 - Episódio 2: Parte 2			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
7	Natan	Olha essa frase que eu mandei aí no WhatsApp Jonas // pra você ver se não ajuda nessa questão	Não é possível saber exatamente a qual frase se refere, pois não tivemos acesso ao grupo de WhatsApp. Mas parece ser a frase do livro que leu no turno 5.
8	Jonas	Então / tipo assim / eu li essa parte / só que tipo / o que que essa parte tá falando // sabe quando o avião passa / ele ultrapassa a barreira do som que dá aquela parte de ar atrás dele que condensa / depois que ele passa dessa barreira / tipo / naqueles vídeos lá / você escuta depois de alguns segundos aquela onda de choque / páaa / ele passando / então / realmente nesse caso // se bem que // mano / poxa	
9	Lucas	Jonas tá com o livro aí (?) olha a figura 19.24 / imagina uma pessoa lá no finalzinho na figura / na montanha / quando você acha que ela vai escutar o som (?)	Indica que observem a figura 19.24 do livro (Figura 9).
10	Jonas	Bem depois que o avião tiver passado por ela	
11	Lucas	Então não tem mistério	
12	Jonas	Mas isso é onda de choque / não é o som produzido por ele // essa onda de choque é quando aquelas ondas que tão em superposição / o avião consegue ir mais rápido que elas // realmente tem a onda de choque / mas tipo assim / vamos supor que o avião não é supersônico / deixa eu compartilhar minha tela de novo / pra você ver aqui // eu fiz um exemplo aqui // vamos supor que o avião não seja supersônico // aqui ó / nesse exemplo aqui do livro / esse inseto ele tá com rapidez / com velocidade igual a velocidade das ondas que ele tá produzindo // vamos	Compartilha a tela de seu computador, mostrando no software Microsoft Paint a figura 19.18 do livro (Figura 8(a)). Desenha novamente a

		<p>supor que esse inseto / esse pontinho vermelho seja o avião // vamos supor que tenha uma pessoa no solo / você concorda comigo que essa onda aqui de cima vai chegar no ouvido dele depois que o avião já tiver passado (?) e o avião não tá mais rápido que a velocidade da onda que ele tá propagando / nesse exemplo aqui // pra tá maior era esse exemplo aqui ó onde a bolinha começa a sair dessa linha / que ele começa a formar o cone // mas aqui (Figura 10) não tá / sabe (?) é isso que eu tô tentando entender // ele não precisa estar mais rápido / entendeu (?)</p>	<p>representação de uma pessoa no chão. Destaca a onde a que se refere com uma seta na Figura 10.</p> <p>Depois mostra o exemplo da figura 19.19 do livro (Figura 8(b)), em que o inseto nada com uma rapidez maior do que a onda que propaga.</p>
13	Lucas	Entendi // agora eu tô na dúvida também	

Figura 9: Figura 19.24 do livro-texto em que mostra uma onda de choque.

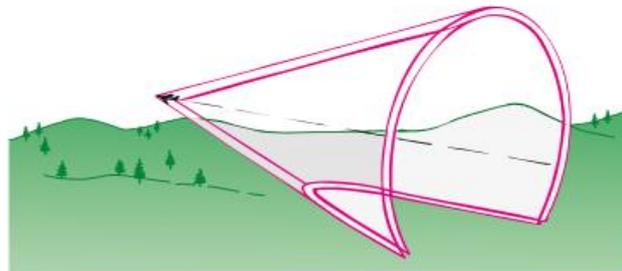
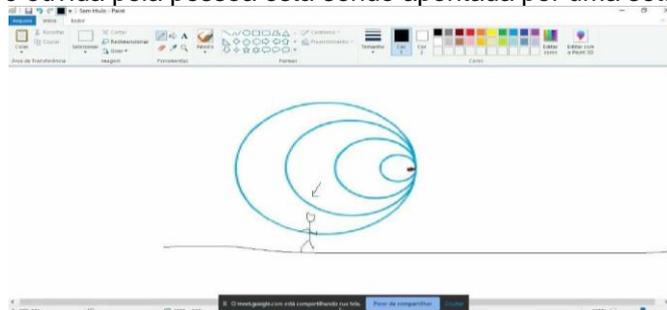


FIGURA 19.24
Uma onda de choque.

Fonte: Hewitt (2015).

Figura 10: Desenho feito pelo estudante Jonas, onde o ponto vermelho representa o avião em uma velocidade igual à velocidade de propagação da onda sonora. A onda sonora emitida pelo avião que é ouvida pela pessoa está sendo apontada por uma seta.



Fonte: Autores.

Lucas não está errado ao sugerir no turno 9 que o som de um avião supersônico só é ouvido depois que ele é visto, mas o que ele parece ainda não ter compreendido

da fala de Jonas (turno 12), é que um avião que não é supersônico também será ouvido depois que ele é visto.

Para cumprirem uma das regras da Atividade, que é a produção de uma resposta final em consenso com todo o grupo, Jonas tenta convencer os colegas de sua ideia de solução reexplicando o desenho feito a partir da figura do livro, mas parece não ter muito sucesso com o colega Lucas.

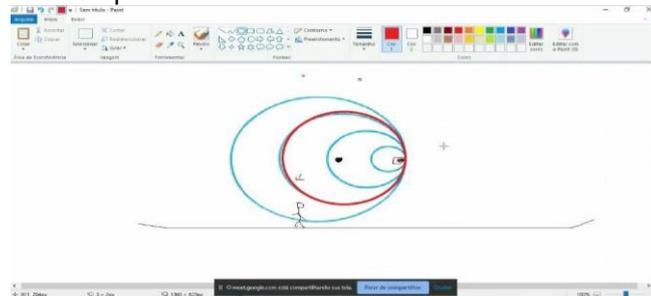
Lucas parece dar muita importância ao conteúdo do capítulo referência da aula, e acaba recorrendo a este recurso como se as respostas para as questões estivessem sempre relacionadas aos conceitos ali apresentados. Isso acaba limitando suas ideias, que ficam muito presas a esses conceitos. É perceptível que essas ideias não vão de encontro ao que está sendo perguntado na questão, provocando uma tensão relacionada à falta de interpretação do enunciado da questão.

Quadro 27 - Episódio 2: Parte 3			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
14	Professor	Quer ajuda aí / galera (?)	
15	Jonas	Eu quero // é o seguinte / vou compartilhar minha tela de novo / não sei se você chegou a ver // mas é na oito só // perguntando “se o som do avião não vem da parte onde ele é visto / isso significa que ele está se deslocando a uma velocidade supersônica (?)” aí meu argumento foi que não / e vou compartilhar minha tela do porquê // eu tirei essa parte aqui do livro / que é aquele exemplo do inseto voando tão rápido quanto a onda que ele produz // agora tipo assim / aplicando isso pro avião / supondo que esse inseto seja um avião / tipo assim / uma pessoa que tá aqui nesse nível do solo / você concorda que essa onda vai chegar no ouvido dele depois que o avião já tiver passado (?) só que nesse caso o avião não tá se movendo numa velocidade mais rápido do que as ondas que ele tá produzindo / ele tá voando com a mesma velocidade // então tipo assim / o livro tá dando exemplo / ele explica certinho quando a questão é onda de choque / aquele estrondo supersônico lá / o cone / a história do cone e tudo mais / só que ele não precisa estar nessa velocidade / eu só não sei explicar o porquê	Relê o enunciado da questão para o professor e compartilha a tela do seu computador, mostrando no software Microsoft Paint a figura 19.18 do livro (Figura 8(a)). Desenha novamente a representação de uma pessoa no chão. Destaca a onde a que se refere com uma seta, como na Figura 10.

16	Professor	Esse seu desenho aí tá ótimo / você tá mostrando que o bonequinho quando tá nessa posição / ele tá ouvindo uma onda relativa a // onde é que o avião tava quando produziu essa onda (?)	
17	Jonas	Ele tava aqui ó / um pouquinho mais atrás / mas ele escuta só depois que ele passou já	Desenha um ponto preto para indicar onde o avião estava quando produziu a onda (Figura 11).
18	Professor	Não // na hora que ele produziu ele tava onde (?)	
19	Jonas	Já tava mais na frente // tava aqui ó / nesse ponto / no centro	Indica o ponto preto desenhado (Figura 11).
20	Professor	No centro de qual círculo (?) e que onda que chegou (?) me mostra aí	
21	Jonas	Essa aqui ó / vou circular ela (Figura 11)	Circula a onda que vai ser ouvida pela pessoa no chão em vermelho (Figura 11).
22	Professor	Essa é a onda que vai chegar / não é (?) no ouvido dele agora // a outra já passou então (?)	
23	Jonas	Isso	
24	Professor	Tá // essa aí produziu ali // então quando essa onda chegar no ouvido dele / ele vai achar que o avião tá ali / mas o avião já se deslocou / igual você tá falando / não é isso (?) tem algum outro sistema que a gente usa também que é parecido com esse aí que você tá falando (?)	
25	Jonas	Outro sistema (?) tem a ver com efeito doppler lá (?)	
26	Professor	Não // eu ia falar mais é da história do relâmpago e do trovão né	
27	Jonas	Ah é / verdade	
28	Professor	Mas essa figura que você tá desenhando aí dá até pra gente brincar // qual que é a velocidade desse avião (?)	

29	Jonas	É tão rápida quanto a velocidade da onda que ele tá propagando / que é a velocidade do som no ar	
30	Professor	Legal // ficou bom nisso einh Jonas (?)	
31	Jonas	Mas eu não sei explicar ainda / não tenho uma resposta ainda pra //	
32	Professor	Não / você já tem a resposta // conversa com seu grupo aí / que que seu grupo tem de resposta aí (?)	

Figura 11: Desenho feito pelo estudante Jonas, onde o ponto vermelho representa onde o avião é visto e o ponto preto o avião no momento que emite a onda sonora. A onda sonora que é ouvida pela pessoa está destacada em vermelho.



Fonte: Autores.

Apesar de Jonas já ter apresentado uma resposta correta para a questão e conseguir justificá-la através do desenho, ele ainda não é capaz de propor uma explicação (turno 15).

O Professor confirma que o desenho feito por Jonas mostra que o avião não é visto e ouvido no mesmo ponto, e a fim de auxiliar no desenvolvimento da Atividade do grupo introduz um novo recurso mediacional no Sistema de Atividade: o exemplo do trovão e relâmpago como situação análoga à da questão. Jonas não se apropria desse novo recurso de modo a provocar transformações na Atividade, não sendo capaz de fazer uma associação entre as duas situações, e continua afirmando não saber explicar a questão (turno 31). Mas o Professor encoraja o aluno a fazê-lo, não se dispõe a compor uma resposta para o grupo, e ainda indica que o caminho para tal é o uso da linguagem com os colegas.

Quadro 28 - Episódio 2: Parte 4			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
33	Lucas	Eu tô na mesma que o Jonas / de verdade	
34	Professor	Se é a mesma me explica aí Lucas	
35	Lucas	Tipo assim / pra mim / quando ele produziu essa onda / ele realmente tava // mas tipo / sei lá / e se ele só produzir e tipo / na hora que essa onda chegar nessa pessoa / ele ter diminuído essa velocidade // não quer dizer que quando	

		essa onda chegou / ele exatamente tinha que estar na velocidade maior do que a do som / entendeu (?) se é esse o objetivo da pergunta / perguntar pra gente se ele //	
36	Professor	A pergunta é mais por que desse atraso (?)	
37	Samuel	Porque dá uma diferenciação né / entre o movimento do avião e // o movimento não // a velocidade com que a onda leva pra percorrer uma certa distância é menor que a velocidade que o avião vai percorrer essa mesma distância / ou seja / sendo assim você vai sempre ver o avião chegando na frente do que com relação a onda que vai chegar atrasada // imagina como se fosse dois corredores / a partir do momento que o avião ultrapassa o som / vai ver sempre o primeiro corredor correndo mais do que o segundo / então tipo / vai ser natural primeiro a passagem de um pra depois ver a do outro / só que o que tá mais lento você não vê / você só escuta / que seria a onda né	
38	Lucas	Pra mim tem a ver então se tipo / porque que escuta depois com a formação desse cone / tipo / ele não emite um som e o negócio vai reto e acompanhando junto com ele / a formação do cone justamente justifica isso / da mulher tá escutando depois // porque quando o avião tava exatamente em cima dela / ela tava tipo / sei lá / formando quase // sabe / tipo / ela tava aqui e o avião / esse cone desse som tava chegando nela ainda / não tava nela / por mais que ele esteja exatamente em cima dela // então tipo / tem a ver com ele tá acima dessa velocidade / e tipo / a onda não tá reta	Quando fala de uma mulher se refere a uma pessoa no chão que escuta o som do avião.
39	Jonas	Você acha então que pra isso acontecer ele tem que tá voando numa velocidade maior do que a do som (?)	
40	Lucas	Pode ser menor / só que aí o cone vai ser um ângulo maior / aí vai ser mais rápido pra chegar nela / entendeu (?)	

Até então Jonas parecia ser o único componente do grupo que compreendeu adequadamente a solução do problema, embora alegue dificuldade em verbalizar aos colegas. Mas Lucas também parece estar se convencendo de que o avião não precisa estar em uma velocidade supersônica para que seja visto e ouvido em momentos diferentes (turno 35 e turno 40), apesar de destacar novamente que quando ele estiver em velocidade supersônica isso acontecerá (turno 38).

Supondo que o estudante está certo desta conclusão, o Professor dá a entender que de fato o avião não precisa ser supersônico, e o foco da questão é explicar o porquê o avião não é visto e ouvido simultaneamente (turno 36). Ele sugere que essa deve ser a interpretação da pergunta, pois no turno 35 Lucas ainda demonstra não ter total certeza do que está sendo perguntado na questão. Apesar do direcionamento do professor, o estudante continua recorrendo a conceitos relacionados a ondas de choque e estrondo sônico, que não são úteis para a solução, acentuando a tensão relacionada à falta de interpretação do enunciado da questão.

Quadro 29 - Episódio 2: Parte 5			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
41	Samuel	Pera aí / vamos começar a discussão do começo / que que vocês arrumaram aí (?) vamos lá	
42	Jonas	O meu argumento foi que não precisa tá voando numa velocidade supersônica / por conta / você viu aquele desenho que eu te mostrei / vou mostrar ele de novo / um segundo / pera aí // aqui ó / tá vendo minha tela não tá (?) esse exemplo aqui é do inseto do livro voando / nadando na água / com uma velocidade igual da onda que ele tá fazendo / certo (?) beleza / agora coloca isso no avião / esse pontinho vermelho é o avião // imagina que você tem o solo aqui / e você tem uma pessoa aqui ó / nessa parte do solo / aqui em pé // você concorda comigo que essa onda / que eu tô colocando na seta / ela vai chegar no ouvido dessa pessoa depois que o avião já tiver passado (?) concorda né (?) ou não (?)	Compartilha a tela de seu computador, mostrando no software Microsoft Paint a figura 19.18 do livro (Figura 8(a)). Desenha novamente a representação de uma pessoa no chão. Destaca a onde a que se refere com uma seta na Figura 10. Depois mostra o exemplo da figura 19.19 do livro, em que o inseto nada com uma rapidez maior do que a onda que propaga.

43	Samuel	Concordo / ele tá se propagando na mesma velocidade que a onda né (?)	
44	Jonas	Sim / então beleza / por esse desenho você conclui que não / ele não precisa estar necessariamente numa velocidade maior do que a onda que ele tava produzindo // no caso do avião / é som / é uma onda mecânica / mas tanto você bater na água com um graveto e você gritar no ar / as duas são ondas mecânicas / então acho que esse exemplo também se encaixa no exemplo do avião // só que ele não tá numa velocidade maior do que a onda que ele tá fazendo / ainda assim a pessoa vai escutar depois que o avião já tiver passado / só que tipo assim / eu consigo ver isso pelo desenho / mas explicar isso não consigo	
45	Samuel	Mano / você consegue explicar isso pelo conceito de frente de onda // imagina que cada círculo desse que você tá emitindo / você não tá emitindo um círculo / você tá emitindo uma linha reta // pensa o seguinte / que que acontece / na hora que passar o avião / tipo / com essa linha reta // se você imaginar a onda como isso aí / que que acontece / se o avião tiver na mesma velocidade que a onda / se ele tiver na mesma velocidade que a frente de onda / ele pode estar posicionado tanto anteriormente quanto posteriormente a sua onda / concorda (?) tipo / ele só não pode tá muito né / não vai ter uma diferença grande / imagina que ele tá junto da onda / ali ó / junto do pontinho preto // pensando desse jeito / eu acho que sim / que ele pode estar numa velocidade igual / só que a definição de simultaneidade pra pessoa / pros dois eventos / é o que vai alterar se ela percebe isso ou não / com relação ao avião se movendo	Jonas desenha linhas retas perpendiculares às ondas circulares mostradas na Figura 10, representando as frente de onda a que Samuel se refere.
46	Jonas	Como que é isso que você falou (?)	
47	Samuel	Acho que o que afeta aqui é a definição de simultaneidade pra pessoa / bota fé (?) tipo assim / como que você sabe que dois eventos são simultâneos (?) quando eles acontecem no mesmo local ao mesmo tempo // imagina um trem que tipo assim / o trem chega na estação 7 horas / você é uma pessoa que não está na estação / como que você para pra pensar que o trem chegou na estação 7 horas (?) você parte do pressuposto que não teve nenhum atraso e na hora que o trem tocou a estação você olhou	

		pro relógio e viu que era 7 horas // acho que vai ser mais ou menos o mesmo exemplo / na hora que esse aviãozinho chegar você vai olhar pra onda e vai falar / hum o avião chegou / e ele pode passar uma quantidade muito sutil de tempo porque essa velocidade é muito menor do que a velocidade da luz / aí o que que acontece / a hora que esse avião tá ali na sua frente / tipo / acho que vai ser uma diferença muito mínima / eu acho que você pode até perceber o avião passando junto da frente de onda / bota fé (?) mas você não vai //	
48	Jonas	E aquele exemplo que o Professor deu do trovão e do relâmpago (?)	
49	Samuel	Porque o relâmpago // vamos pensar o seguinte né / que que é o relâmpago (?)	
50	Jonas	Relâmpago é luz	
51	Samuel	Exatamente / e qual que é a velocidade da luz (?) c / qual a velocidade do som (?) porcentagens de c	Refere-se à velocidade da luz no vácuo, simbolizada pela letra c, que é, por definição, igual a 299792458 metros por segundo.
52	Jonas	Sim // mas por que que você escuta o trovão depois (?)	
53	Lucas	Porque a luz é mais rápida do que a velocidade do som	
54	Jonas	Exatamente / mas o efeito do relâmpago aconteceu em um certo instante de tempo / eu não tô pensando mais agora na luz nem no som / o relâmpago aconteceu em um instante de tempo //	
55	Samuel	O que você tem aí é uma diferença da percepção da simultaneidade entre o relâmpago e a luz // vocês concordam que o trovão ele é emitido no mesmo instante que o relâmpago (?) então / essa diferença de velocidade entre ele é que vai dar diferença de percepção / bota fé (?)	
56	Jonas	Não / não é diferença de percepção / é literalmente diferente / você não percebe diferente / elas chegam no seu ouvido com tempo diferente	

57	Samuel	É / ela vai chegar no seu ouvido com bagulho diferente // cara / eu não sei como que eu te explico isso não / sinceramente // eu consigo compreender / mas não consigo explicar	Quando diz “bagulho” parece se referir a tempo.
----	--------	---	---

Jonas repete a explicação do seu desenho nos turnos 42 e 44, conseguindo explicar bem o problema aos colegas. Samuel sugere que a explicação para a questão está relacionada ao conceito de simultaneidade (turno 47), ele parece se referir ao conceito relativístico de simultaneidade, que nada tem a ver com o problema da questão. Isso pode ser explicado pelo fato de Samuel – um sujeito inserido em um contexto sócio-histórico particular e que carrega suas vivências e experiências consigo – estar cursando uma disciplina de Relatividade ao mesmo tempo que cursa Física Conceitual, e pode estar entusiasmado para utilizar os conceitos recentemente aprendidos na explicação de fenômenos e situações.

Jonas retoma o exemplo dado pelo professor no turno 26 do trovão e relâmpago como situação análoga à da questão. Até então a introdução desse exemplo não havia causado nenhuma perturbação na Atividade, mas quando retomado por Jonas no turno 48 faz surgir uma nova tensão no Sistema de Atividade, fazendo com que por alguns instantes o objeto se direcione para a explicação do porquê um trovão é escutado depois de se ver o correspondente relâmpago.

Os dois estudantes concluem que a não simultaneidade ao escutar um trovão depois de ver o corresponde relâmpago se deve à diferença da velocidade da luz e do som, que levam tempos diferentes para nos alcançar. Mas eles parecem não associar essa explicação à situação do avião apresentada na questão.

Observamos então que as tensões que surgem no Sistema de Atividade e que foram identificadas acima culminam em uma contradição entre recursos mediacionais (elementos teóricos e exemplo dado pelo professor) e objeto da Atividade (resposta para a questão), que não é superada, visto que não conseguem articular o exemplo do trovão e relâmpago com uma resposta para a questão. A não superação da contradição fez com que neste episódio não houvesse transformação expansiva da Atividade.

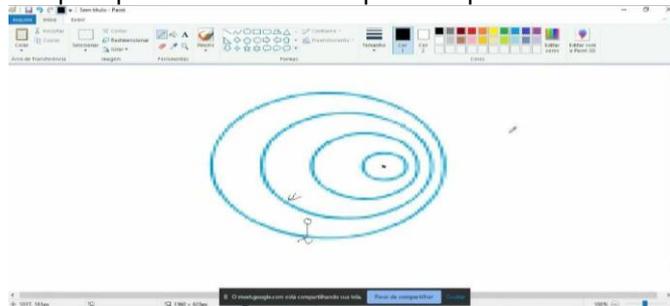
É interessante notar o dilema vivenciado pelos estudantes ao se queixarem de não conseguir explicar satisfatoriamente determinados assuntos e conteúdos que consideram ter conhecimento sobre, como Samuel faz no turno 57. E ter somado a

isso o fato de estarem se formando professores, havendo uma expectativa de que saibam explicar e falar sobre temas da física com facilidade e naturalidade.

Quadro 30 - Episódio 2: Parte 6			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
58	Lucas	A pessoa pode até ver / mas ela vai escutar mesmo que seja um pouco depois / é só isso // não tem como com a distância que ele tá / com a velocidade alta que ele tá / a pessoa escutar na mesma hora que ele tá vendo / não precisa tá acima da velocidade do som // nem que ela escute meio segundo depois / ela vai tá escutando depois	
59	Samuel	É / eu acho que por mais que essa diferença de tempo seja infinitesimal / ela existe / é só colocar isso // tipo assim / a pessoa pode até não perceber / mas pode acontecer se o avião tiver igual / mesma velocidade	
60	Jonas	Eu acho que não precisa nem tá na mesma velocidade / ela pode tá até // deixa eu ver se ele precisa só se mover pra isso acontecer / só um segundo / pera aí / pelo exemplo que ele dá aqui no livro // não / ele precisa só se mover pra isso acontecer	Analisa os exemplos do livro.
61	Lucas	Tipo assim / e se ele tiver se movendo tão devagar / um avião / mas ele produz muito som e tipo / a gente vai escutar // ele não tá nem perto da velocidade supersônica / o som não tá vindo da onde ele realmente deveria estar / mas a gente tá escutando / entendeu (?)	
62	Jonas	Exatamente // acho que não precisa nem dele tá voando na mesma velocidade / ele só precisa estar se movimentando // tipo aqui ó / de novo / último negócio que eu vou mostrar pra vocês // esse exemplo aqui é o mosquito nadando numa velocidade menor do que a da onda / e ainda assim / cai naquele mesmo exemplo que eu falei / a pessoa aqui / o cara tá aqui / ela vai escutar essa onda depois que o cara já passou dela / e não necessariamente tem que tá na mesma velocidade / entendeu (?) só precisa estar se movimentando / acho que é isso	Compartilha a tela do seu computador, mostrando no software Microsoft Paint, uma figura do livro em que uma fonte se movimenta com velocidade menor do que a da onda que propaga. Desenha novamente a representação de

			uma pessoa no chão. Destaca a onde a que se refere com uma seta na Figura 12.
63	Lucas	Eu tô com você / pra mim é isso	
64	Samuel	Eu também	
65	Natan	Também	

Figura 12: Desenho feito pelo estudante Jonas, onde o ponto preto representa o avião em uma velocidade menor do que a velocidade de propagação da onda sonora. A onda sonora que é ouvida pela pessoa está sendo apontada por uma seta.



Fonte: Autores.

Aos poucos a explicação do grupo vai ficando mais robusta e mais clara, e nesta parte do episódio os estudantes concluem que quando o avião se desloca com uma velocidade menor do que a velocidade do som ele também é ouvido depois de ser visto (turnos 60 a 62), reafirmando a hipótese de que não é necessário que ele esteja em uma velocidade supersônica.

Quadro 31 - Episódio 2: Parte 7			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
66	Professor	Fechou em que (?) me conta aí	
67	Jonas	Naquilo que eu e você discutimos / tipo assim / fechou naquilo / não precisa tá nem na velocidade supersônica / nem tá voando com a mesma velocidade da onda que tá produzindo / só precisa estar se movimentando / a gente chegou nessa conclusão // pra pessoa sentir a diferença / quanto mais rápido o avião se movimentar / melhor ela vai notar essa diferença / mas ainda assim essa diferença existe / só precisa o avião se movimentar / entendeu (?)	
68	Professor	E o Samuel ficou satisfeito com isso (?)	
69	Samuel	Sim	
70	Jonas	A gente tem que ir mais rápido / a gente tá extrapolando demais	

71	Professor	Não / a discussão tá boa / o que eu ouvi até agora são discussões pertinentes / era o que eu esperava que surgisse mesmo	
72	Jonas	Você consegue montar a resposta Samuel (?)	
73	Samuel	Vamos tentar construir aqui junto	
74	Jonas	Eu não sei explicar até agora // vamos lá / tipo assim / o que acontece com a onda quando você produz ela (?)	
75	Samuel	Ô gente / a gente tá extrapolando esse trem de uma forma tão grande / fisicamente isso é efeito doppler // tem uma diferença entre a frequência de som que é emitida pela fonte / e como ela tava com certa velocidade / você percebe essa frequência de uma maneira diferente / com isso que que acontece / até a diferença na posição do som você vai ter ilusão // por exemplo / o som quando a fonte tá se aproximando de você / ele fica mais grave / ou seja / o avião ele pode tá chegando pra você // não / não vai explicar isso // não sei / vai ter uma diferença na frequência percebida / e o som pode ficar mais grave ou mais agudo / nisso você pode acha que o avião tá mais próximo ou mais longe de você	
76	Lucas	Isso / exatamente // pensa num carro de bombeiro / agora pensa ele voando / é a mesma coisa / o mesmo exemplo do livro / só que bota o carro voando	
77	Jonas	Acho que a explicação pra isso / pra dar o ponto final / é isso mesmo // eu pensei nisso quando eu bati o olho nessa questão / efeito doppler e tal // mas a explicação eu já não sei dar / sinceramente // já que você conseguiu pensar em uma aí Samuel / só colocar no papel eu acho	
78	Samuel	Tá / eu vou tentar	

Os estudantes se mostram preocupados com o pouco tempo disponível que ainda têm para finalizar a resposta, evidenciando uma tensão que surge em vários momentos durante as aulas de Física Conceitual entre uma regra da Atividade, que é a entrega do questionário respondido até um horário determinado após o final da aula, e objeto, respostas corretas para as questões propostas.

Apesar de terem chegado a conclusões corretas e a uma explicação para a não simultaneidade do trovão e relâmpago, o grupo não consegue propor uma resposta

final baseada na discussão e acabam se fundamentando em um conceito que não foi discutido, o de efeito Doppler.

É interessante notar que existe uma preocupação dos estudantes em proporem uma resposta escrita que tenha credibilidade e um certo formalismo científico, e eles parecem acreditar que o uso de certos conceitos, talvez considerados por eles de autoridade, validam a credibilidade da resposta. Esse pode ter sido o caso da proposta do conceito do efeito Doppler como solução para a questão. E apesar de não termos elementos concretos no diálogo que nos permitam concluir o porquê do uso errôneo desse conceito, podemos fazer algumas especulações e inferências.

Um possível fator que pode os ter levado a cometer este erro é a semelhança na representação do efeito Doppler com a situação da questão. O efeito Doppler é o fenômeno de variação da frequência de uma onda devido ao movimento da fonte ou da pessoa que a recebe, e é ilustrado nos livros de física por situações em que há uma pessoa parada e um objeto que emite som em movimento, que é justamente a situação da questão apresentada na Figura 6. Samuel, ao propor a explicação do turno 75, provavelmente associou o avião em movimento a uma fonte em movimento que causa o efeito Doppler, e pode ter concluído que a variação da frequência da onda emitida pelo avião provocaria uma diferença na localização onde o avião é visto e onde é ouvido. O erro do aluno foi não se atentar ao que era perguntado na questão, a resposta deveria tratar da localização de um som que é emitido por uma fonte em movimento e não das características do som recebido em relação ao som originalmente produzido pela fonte.

Uma outra associação errônea que o grupo pode ter feito é a de que se o problema trata da diferença entre o tempo de percepção do avião e do som que ele emite, a frequência do som, que tem relação inversamente proporcional com o tempo, é que seria responsável pelo efeito de se visualizar o avião em um local diferente do que ele é ouvido. Isso também os levaria a associar a situação da questão ao efeito Doppler.

A resposta redigida por Samuel que foi entregue ao professor é apresentada a seguir:

“Sabemos que o avião ao se movimentar está emitindo o som em uma determinada frequência. Como esse avião produz o som enquanto está em movimento, sabemos que há uma diferença na frequência percebida entre o detector

e a frequência emitida pelo avião que é explicada fisicamente pelo efeito doppler. Basicamente uma fonte que estão se aproxima do detector, produz um som mais grave e uma fonte que se afasta do detector produz um som mais agudo. Essa diferença de percepção faz com que o ouvinte não seja uma fonte confiável de informação quanto a posição da fonte. No caso de um avião (fonte) que se aproxima de uma pessoa (detector), essa pessoa escuta esse som mais grave, tendo a sensação que o avião está mais próximo dela, sendo assim um avião que emite um som de uma parte do céu em que ele não está visível não necessariamente está em uma velocidade supersônica.”

A resposta apresentada foi considerada errada pelo Professor, visto que a explicação da questão não tem relação com o efeito doppler, e sim com a diferença entre a velocidade do som e da luz. Esse episódio evidencia uma contradição presente na proposta metodológica da disciplina Física Conceitual já identificada por Mendonça (2019), que 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.

6.2.4.3. Episódio 3

O episódio 3 é um episódio característico de quando os estudantes identificam no livro-texto um exemplo de uma situação muito semelhante à situação do problema que precisam solucionar. Ao se valer de exemplos resolvidos para a solução de novos problemas, estudantes usam diferentes estratégias, podendo ser um processo profundo ou superficial (DOCKTOR; MESTRE, 2014). Veremos a seguir como ocorre esse processo para os nossos sujeitos, ao recorrerem a um exemplo do livro para resolverem um novo problema desconhecido.

O problema em questão é o primeiro do questionário do capítulo 5 do livro, que se trata da 3ª Lei de Newton do Movimento, e seu enunciado é mostrado na Figura 13. O tempo gasto pelo grupo para responderem a esse problema foi de 7 minutos, enquanto o tempo total de aula foi de 2 horas e 15 minutos.

Figura 13: Primeira questão da aula 5. Questionário relativo ao tema 3ª Lei de Newton do Movimento.

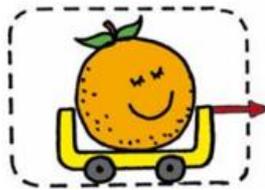
1.	Um cavalo puxa um trenó com uma força horizontal, fazendo-o acelerar, como mostra a figura. A 3ª Lei de Newton diz que o trenó exerce uma força de mesmo módulo e direção oposta sobre o cavalo. Em vista disso, como pode o trenó se acelerar – essas forças não se cancelam?	
----	--	---

Fonte: Autores.

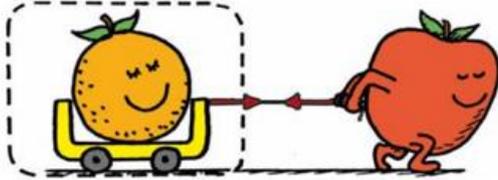
O início do episódio se dá após Lucas ler o enunciado da questão em voz alta para o grupo.

Quadro 32- Episódio 3: Parte 1			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Lucas	Essa é a pergunta / e aí (?) o que vocês pensam sobre (?)	
2	Natan	No livro tem um exemplo da maçã / é a mesma coisa né	Se refere ao exemplo retratado nas figuras 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11 do livro-texto (Figura 14).
3	Lucas	Isso / exatamente	
4	Jonas	Qual que é o exemplo (?)	
5	Natan	É uma maçã / primeiro é só / mostra só a laranja e um quadriculadinho entre ela	
6	Lucas	Tipo fechando o sistema	
7	Natan	Isso / aí a laranja tá se movimentando para a direita com determinada aceleração / aí depois na outra figura mostra que tem uma maçã puxando ela com uma força externa / fora desse sistema	
8	Lucas	Tipo assim / o que a figura quer dizer é o seguinte / enquanto tem a laranja / tá sofrendo uma aceleração / essa aceleração tá vindo da maçã / só que não quer dizer que essas forças se cancelam / porque a maçã está sendo acelerada pela terra com o atrito / quando ela está andando a terra está empurrando ela pra frente / e ela meio que empurrando a terra pra trás entre aspas / então ela só tá / concorda (?) há uma força que puxa a maçã / mas a maçã tá sendo acelerada pela terra / entendeu (?)	
9	Jonas	Aham / entendi	
10	Lucas	É isso é uma força externa / daquela terceira lei de Newton ali / entendeu (?)	

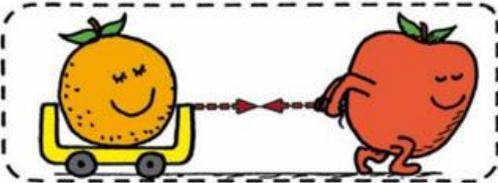
Figura 14: Sequência de figuras que ilustram a seção “Definindo nosso sistema” do livro-texto.

**FIGURA 5.8**

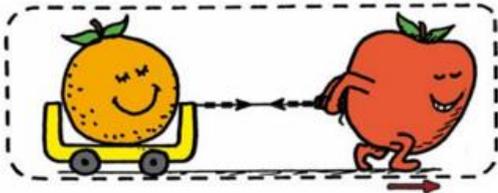
Uma força atua sobre a laranja, e esta acelera para a direita.

**FIGURA 5.9**

A força exercida sobre a laranja, devido à maçã, não é cancelada pela força de reação exercida sobre a maçã. A laranja ainda acelera.

**FIGURA 5.10**

No sistema maior laranja + maçã, as forças de ação e de reação são internas e se cancelam. Se elas forem forças exatamente horizontais, e se não existem forças externas exercidas, não ocorrerá aceleração alguma do sistema.

**FIGURA 5.11**

Uma força horizontal externa ocorre quando o piso empurra a maçã (reação ao empurrão da maçã sobre o piso). O sistema laranja-maçã acelera.

Fonte: Hewitt (2015).

No turno 2, Natan sugere que há no livro um exemplo de uma situação igual à da questão. A partir disso, as ações dos estudantes são direcionadas ao entendimento e explicação de tal exemplo, ou seja, direcionadas ao objeto da Atividade.

O estudante se refere a uma sequência de figuras (Figura 14) que ilustram o texto da seção “Definindo nosso sistema”, e as descreve nos turnos 5 e 7. Nesta seção do livro, o autor discute o conceito de sistema, importante para responder a seguinte questão que aparece com frequência no estudo da 3ª Lei de Newton: uma vez que as forças de ação e reação são iguais e opostas, por que então não se anulam?

Lucas parafraseia as explicações das legendas das figuras dizendo que a laranja é acelerada pela maçã e que as forças exercidas pela maçã e laranja sobre a outra não se cancelam, pois, a maçã está sendo acelerada pela força que o chão faz sobre ela, que é uma força externa (turnos 8 e 10). Em sua fala, ele parece considerar o sistema maior laranja + maçã, e parece entender que as forças que maçã e laranja exercem uma sobre a outra são forças internas do sistema, que é acelerado por uma força externa: a força do chão sobre a maçã quando ela o empurra ao andar.

Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
11	Samuel	Real isso que o Lucas falou / se a gente determinasse o par de forças internas igual no livro né / o par de forças internas / que é o par de forças entre / nesse caso aqui entre o cavalo e o trenó / que vão ser iguais em módulo / porém é aquele negócio / o cavalo empurra o chão e o chão empurra o cavalo / conseqüentemente empurrando o trenó né	
12	Lucas	O que seria / se eles estivessem em equilíbrio e não se movessem / seria só se o cavalo sei lá / com a força do corpo dele tentasse cair pra frente / entende (?) aí realmente / ficaria em equilíbrio e o cavalo não sairia do lugar / porque o trenó estaria segurando ele / supondo que eles teriam uma massa mais ou menos igual / mas não é só isso o sistema / tem uma força externa / que é a força do cavalo acelerar pra direita devido a ele empurrar a terra e a terra empurrar ele de volta / entende (?)	
13	Samuel	Concordo com você	
14	Natan	Eu também	
15	Lucas	O Jonas tá numa cara tipo assim pera aí mano	
16	Jonas	Eu tô lendo / eu tô lendo o exemplo da maçã e da laranja	Lê o livro enquanto os colegas discutem.

Samuel faz o movimento de associar o exemplo do livro à situação da questão proposta no questionário, relacionando estes dois contextos. Isso provoca uma pequena mudança na Atividade, que antes estava direcionada ao entendimento das figuras do exemplo do livro, e agora tem como foco a explicação da questão.

O estudante delimita o sistema como cavalo + trenó e as forças internas a esse sistema como as forças que cavalo e trenó exercem um sobre o outro (turno 11). Apesar de não deixar explícito, ele parece entender que as forças do cavalo sobre o chão e do chão sobre o cavalo são forças externas, sendo a força do chão sobre o cavalo responsável por acelerar o sistema.

No turno 12, Lucas explica como deveria ser a configuração do sistema para que ele ficasse em repouso, assim como foi explicado na legenda da Figura 5.10 do livro (Figura 14). E ressalta que a diferença da situação exposta na questão para a de um sistema em repouso é a atuação de uma força externa no cavalo. Apesar disso,

em sua fala (turno 12), Lucas menciona também uma comparação das massas dos objetos envolvidos na interação (“supondo que teriam uma massa mais ou menos igual”) o que é um pressuposto equivocados na interpretação do Princípio da Ação e Reação. Esta restrição, no entanto, não é retomada por ele ou por seus colegas na interpretação do problema.

Os colegas sinalizam concordar com a explicação de Lucas, mas ele parece achar que Jonas não está conseguindo acompanhar (turno 15). Jonas justifica não estar acompanhando a explicação do colega pois está lendo o texto do livro que foi citado no início da discussão (turno 16). Apesar de Jonas ser um aluno muito participativo e sempre propor boas explicações, é recorrente o fato de ele não cumprir uma regra da Atividade, que é a leitura prévia do capítulo do livro, isso faz com que ele muitas vezes precise realizar essa leitura durante a aula e atrase sua entrada na discussão das questões.

Quadro 34 - Episódio 3: Parte 3			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
17	Lucas	No caso né / a força que o cavalo empurra / que permite ele empurrar na verdade / é a de atrito né	
18	Samuel	É / sim / concordo / isso aí tem que salientar também né	
19	Lucas	E quem empurra de volta é a própria força que o corpo tá fazendo	
20	Samuel	Sim	
21	Lucas	Na verdade / a gente pode chamar qualquer uma de ação e qualquer uma de reação / isso não é importante / porque as duas é como se fosse só uma / o livro mesmo fala / é indiferente você chamar / sei lá / se você soca a parede você não precisa / sua mão não precisa ser a ação / entendeu (?) Pode ser a reação / a força é a mesma	
22	Jonas	É / li aqui / concordo	
23	Natan	Mandei a resposta no grupo	Se refere ao grupo de WhatsApp.
24	Lucas	Pra mim tá perfeito / e acho que tá bem trivial pra uma galera de ensino médio também / que não / tipo assim / tá bem explicado o que cada coisa tá fazendo e o que cada força é / pra mim tá tranquilo	Depois de ler a resposta enviada por Natan a avalia.

Lucas avança um pouco mais na discussão ao trazer o elemento que permite que o cavalo empurre o chão para trás e seja empurrado pelo chão para frente, que é o atrito entre as superfícies das patas do cavalo e o chão (turno 17). Ele ainda aborda a questão de que as forças de ação e reação sempre agem em pares, e a escolha de qual força chamar de ação e qual chamar de reação é arbitrária, pois não muda o par ação-reação (turno 21).

A discussão se dá em torno de explicações que contribuem para a formulação de uma resposta final para a questão, motivo da Atividade. Explicações essas baseadas no exemplo citado no livro, que devido à semelhança com a situação da questão foi rapidamente identificado e aplicado ao novo contexto, demonstrando a confiança e credibilidade que os estudantes depositam no livro-texto, ao aceitar o que é apresentado ali imediatamente.

Como resultado da discussão, Natan, que é o redator do dia, produz a seguinte resposta para ser entregue ao professor:

“O trenó pode se acelerar, pois há uma força externa do sistema. Realmente, o trenó faz uma força com mesmo módulo e sentido oposto ao cavalo, entretanto, o cavalo, quando anda, está empurrando o terreno (devido a força de atrito), e este, simultaneamente, empurra o cavalo, causando uma aceleração, conseqüentemente, movendo o trenó.”

Ao analisar o diálogo do episódio 3, percebemos que o grupo é capaz de responder como o trenó se acelera mesmo que as forças exercidas sobre o cavalo e o trenó sejam iguais e opostas.

Como em outros episódios, a resposta redigida que foi entregue ao professor evidencia uma dificuldade de traduzir o que foi discutido em texto. Na primeira frase da resposta é afirmado que “o trenó pode se acelerar pois há uma força externa ao sistema”, mas não é definido qual é o sistema. Podemos inferir que se trata do sistema cavalo + trenó, mas não há essa definição clara na resposta, não ficando explícito que a força externa ao sistema que o faz acelerar é a força que o terreno faz no cavalo.

A dificuldade de transformar ideias em textos coesos, coerentes e completos parece ser comum em estudantes no início da graduação, e consideramos que a proposta da disciplina Física Conceitual de produção de respostas para questões conceituais de física pode contribuir muito para a superação dessa dificuldade e aprimoramento da habilidade de escrita.

6.2.4.4. Episódio 4

O episódio apresentado a seguir aconteceu durante a sexta aula, que tinha como referência o capítulo 6 do livro intitulado “Momentum”. O enunciado da questão que iremos analisar é mostrado na Figura 15. O grupo discutiu a questão durante 9 minutos, em aula que teve duração de 2 horas.

Figura 15: Segunda questão da aula 6. Questionário relativo ao tema Momentum.

2	Um bombeiro tem dificuldade de segurar uma mangueira que ejeta água em grande quantidade e com alta velocidade. Para facilitar, ele procura manter a mangueira o mais esticado possível, sem fazer curvas. Por quê?
---	---

Fonte: Autores.

No Sistema de Atividade constituído durante o intervalo de tempo em que os estudantes se movem para encontrar a solução para a questão apresentada, identificamos uma contradição no processo de elaboração da resposta à questão proposta, visto que na maior parte da discussão com o grupo os estudantes expressam suas ideias através da linguagem cotidiana, mas espera-se que a resposta final entregue ao professor seja redigida em linguagem científica. Como veremos a seguir, há uma preocupação recorrente dos estudantes com relação a adequação da linguagem que deve expressar a resolução da resposta. Essa transição de linguagem cotidiana à linguagem científica não se limita apenas ao uso correto de jargão técnico, mas determina novas possibilidades de articulação de ideias e compromissos do que constitui uma boa explicação em física.

Para Mortimer (2014), a linguagem cotidiana, utilizada pelos estudantes no dia a dia, é linear, apresentando uma ordem sequencial que é estabelecida e mantida. Nessa linguagem, o narrador sempre está presente, e as ações realizadas são expressas por verbos. Sendo natural que os estudantes utilizem a linguagem cotidiana na maior parte do tempo em sala de aula, já que o mundo em que vivem é dinâmico, onde seres e coisas são designados por nomes e processos por verbos. Já a linguagem científica é predominantemente estrutural, o agente normalmente está ausente, ocultando a perspectiva de um narrador. Na linguagem científica, os processos se transformam em nomes ou grupos nominais e os verbos não expressam mais ações e sim relações.

Segundo o autor, a aprendizagem das ciências é inseparável da aprendizagem da linguagem científica. Essa, de acordo com Lemke (1998), é uma integração sinérgica entre linguagem verbal, linguagem de representação visual, linguagem do

simbolismo matemático e linguagem das operações experimentais. Segundo este autor, para que os estudantes aprendam a raciocinar e agir cientificamente eles precisam aprender a transitar entre as diferentes linguagens da ciência e usá-las de maneiras significativas e adequadas.

Assim, acreditamos que a contradição identificada no sistema de Atividade pode ser superada por meio da articulação de diferentes recursos mediacionais, o que pode possibilitar aos estudantes transitarem entre as diferentes linguagens da ciência, e finalmente, serem capazes de elaborar uma resposta cientificamente adequada ao problema apresentado.

Abaixo apresentamos a primeira parte do episódio, que tem início após o estudante Jonas ler o enunciado da questão em voz alta para o grupo.

Quadro 35 - Episódio 4: Parte 1			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Lucas	Enfim / eu pensei // a primeira coisa que veio na minha cabeça é que se a mangueira fizer curvas / é // o impulso que a água vai causar dentro da mangueira pra poder chegar até o final seria maior do que se ela tivesse reta / entendeu (?)	
2	Samuel	Por que (?)	
3	Lucas	Sei lá / pensa você correndo num labirinto // que que é mais fácil de você quebrar a parede do labirinto (?) se tiver reto ou se tiver cheio de curvas (?) sendo que você tá numa puta alta velocidade / entende (?) quebrar a parede seria a mangueira ficar desorientada e o bombeiro não conseguir segurar ela / entendeu (?)	
4	Samuel	Mano / tipo / eu acho que // eu acho que tá no caminho / mas não é isso ainda	
5	Jonas	Esse exemplo do labirinto foi bom mano / eu concordei // tipo assim mano / eu acho que como a água tem alta velocidade / quando ela tá dobrada ela exerce uma força muito maior nas paredes da mangueira / e fica mais difícil de segurar // quando ela tá tipo assim / esticadinha / ela vai sair com a velocidade máxima e o cara mal vai sentir a água passando dentro da mangueira	

No início do episódio, Lucas apresenta um primeiro palpite de resposta para a questão, de que em uma mangueira com curvas o impulso que a água faz nas paredes dessa mangueira é maior do que em uma mangueira esticada. Seu palpite é expresso

em linguagem cotidiana, os fatos são apresentados numa ordem sequencial e linear, e os verbos indicam ações que são realizadas pela água nesse processo. Em seguida, o estudante justifica seu pensamento por meio de uma analogia, que o ajuda a pensar na situação da questão em um contexto imaginário (o labirinto) mas familiar (jogos e colisões com o próprio corpo). O uso dessa analogia como recurso mediacional para atribuir sentido à situação proposta evidencia como os estudantes formulam suas próprias respostas, eles combinam aquilo que está sendo ensinado com conhecimentos e experiências anteriores (MORTIMER, 2014).

No turno 4, Samuel considera o raciocínio válido, mas alega que é ainda insuficiente, sem justificar a razão disso. Adiante, veremos que ele se preocupa em adequar as ideias apresentadas à linguagem científica.

No turno 5, Jonas tenta traduzir a analogia do colega por meio de linguagem científica, utilizando os conceitos de velocidade e força, mas sua fala ainda é predominantemente em linguagem cotidiana. Ele expressa seu pensamento em ordem sequencial e linear, utilizando os verbos exercer, sair e sentir indicando ações. Seu pensamento caminha em direção ao pensamento científico, mas não há, ainda, uma justificativa para a atribuição (correta) de maior força exercida pela água nas paredes da mangueira quando passa por uma curva.

Quadro 36 - Episódio 4: Parte 2			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
6	Samuel	Mano / eu tava tentando achar uma forma de relacionar a curva da mangueira com a velocidade do fluxo de água dentro da mangueira / pra jogar naquela equação de momento ou de impulso / pra gente poder analisar // acho que a gente tá com o raciocínio bom / só que eu acho que ainda não é isso totalmente	
7	Lucas	Tá / só que você queria fazer com cálculo / não é (?)	
8	Samuel	Não não não / eu não queria fazer com cálculo / eu queria fazer com que a gente pudesse relacionar conceitualmente o fluxo de água na mangueira com a curva na mangueira / ver se isso ia implicar em alguma diferença de tempo com velocidade / pra aí sim a gente bolar nossa resposta / porque a gente taria pautado tanto matematicamente quanto conceitualmente / bota fé (?)	

Na segunda parte do episódio, Samuel faz uma tentativa de transição do

raciocínio apresentado por Lucas e Jonas para a linguagem matemática, talvez por considerar tal linguagem indispensável na resolução de problemas em física.

Adiante, o estudante mais uma vez se preocupa em refinar a resposta. Novamente, ficando evidente a contradição que identificamos na Atividade. Para Lucas, Samuel deseja adequar a resposta com o uso da matemática, o que iria contra a regra da Atividade de apresentarem respostas conceituais sem formalismo matemático. Samuel explica que não tem a intenção de excluir os conceitos da resposta, mas acha importante usar o argumento matemático como justificativa de uma relação entre as variáveis envolvidas (a curva na tubulação, a velocidade da água e o impulso ou força exercida por ela na mangueira).

Neste momento, Jonas interrompe a discussão trazendo a leitura de um trecho do livro:

Quadro 37 - Episódio 4: Parte 3			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
9	Jonas	Aqui ó / tipo assim / aqui no livro tá falando / quando começa o capítulo da parada de impulso // aqui ó / “se o momentum de um objeto variar / então ou a massa ou a velocidade ou ambas vão variar / se a massa se mantém constante / como é mais frequente / a velocidade varia e existe aceleração / e o que produz aceleração (?) / a resposta é uma força / quanto maior a força que atua num objeto / maior será a variação ocorrida na sua velocidade e daí no seu momentum” / então tipo assim véi / quando você tem // ó / acho que já sei uma resposta / quando você tem uma mangueira reta o que acontece é que a água tá tendo aquele fluxo / o momento dele / da água / o momento linear da água tá constante / que a massa dela entre as aspas é constante / e o módulo / o módulo não / a direção da velocidade tá sempre apontando pro mesmo lugar e aí ela não tá variando o momento linear / não tá sendo aplicada uma força ali / quando você tem aquela //	Lê um trecho do livro-texto.
10	Samuel	A curva vai ter variação do momento linear porque o vetor velocidade da molécula de água vai variar ao longo da mangueira / exatamente	
11	Lucas	Vai criar forças perpendiculares / é // perpendiculares não // é // perpendiculares à mangueira / que vai fazer ela balançar e ser difícil segurar	Faz gestos com os braços para mostrar a direção da

			força em relação à direção da mangueira.
12	Jonas	Beleza / então vai ser isso então / deixa eu escrever uma resposta aqui e vou mandar no grupo	

O trecho escolhido por Jonas consiste na apresentação formal de princípios físicos chave no capítulo em questão. Este trecho é apresentado em linguagem científica e abstrata. Não há agente presente devido a nominalização dos processos (variação de momentum, variação de velocidade, aumento de força, aumento na variação da velocidade, aumento na variação do momentum) e os verbos não indicam ações, mas relações.

Identificamos, neste momento, uma mudança na ordem dos discursos emitidos pelos estudantes. Se nas partes 1 e 2 do episódio prevalecia o movimento discursivo que ia do fenômeno físico descrito no enunciado do problema para uma conceituação física elementar (em termos de velocidade, força e impulso da água percorrendo a tubulação), neste terceiro segmento, a direção é oposta: dos princípios físicos para a situação concreta descrita no problema. Esses dois movimentos correspondem às duas trajetórias sugeridas por Vygotsky (1987) para as relações entre conceitos científicos e conceitos cotidianos. Para o autor, os conceitos cotidianos se movem de baixo para cima (de situações concretas para generalizações ou abstrações) enquanto os conceitos científicos fazem o movimento oposto (de princípios gerais para situações concretas) e assim se enriquecem mutuamente.

O trecho do livro citado por Jonas apresenta elementos que justificam sua proposição inicial, no turno 5. A partir dos conceitos de momento linear, velocidade, aceleração e força os estudantes conseguem sistematizar uma resposta embasada em argumentos científicos sólidos. Esse trecho do livro é fundamental para a transição da linguagem cotidiana para a linguagem científica.

No turno 11, percebe-se a dificuldade de Lucas em saber se as forças seriam perpendiculares ou não à mangueira. Ele certamente está pensando espacialmente na situação, e utiliza gestos para organizar tal pensamento, o que também poderia ser feito por meio de desenhos e diagramas, que são o meio de escolha independente do tempo para tais expressões de significado. Percebemos que os estudantes pouco transitam para as linguagens de representação visual, o que atribuímos a uma

limitação do ambiente online, que dificulta o uso de tal linguagem ou não consegue sempre captá-la quando utilizada.

A resposta redigida por Jonas e que foi entregue ao professor é apresentada abaixo:

“Se o momento linear, ou momentum, de um objeto variar, então dizemos que ou a massa ou a velocidade de um objeto irá variar. Normalmente, o que acontece, é que a velocidade desse objeto varia, ou seja, existe uma aceleração nesse corpo. O que causa essa aceleração é uma força. Quanto maior a força que atua em um objeto, maior será a sua variação de velocidade e conseqüentemente, do momento linear. O que acontece quando a mangueira está esticada é que, quando a água flui, não existem variações no seu momento linear, ou seja, o bombeiro mal sente que a água está correndo nas paredes da mangueira. Em contrapartida, quando a mangueira está dobrada, a água sofre diversas alterações no seu momentum quando se choca nas paredes da mangueira, pois a direção do vetor velocidade muda, e essas alterações, que na verdade são forças que a água faz, são sentidas pelo bombeiro. Por isso, com a mangueira dobrada, seria mais difícil segurar.”

A resposta é redigida em linguagem científica, ela é estrutural, o agente está ausente e há nominalização dos processos (variações no momento linear, alterações de direção da velocidade, forças aplicadas na mangueira).

Durante o episódio percebemos que diversas mídias e canais de informação transmitem informações científicas para os estudantes por meio de livro-texto, falas dos colegas, sites de pesquisa na internet, dentre outros. Durante a Atividade, eles integram e usam diferentes sistemas semióticos da ciência, e, por isso, podemos dizer que aprenderam, por meio desta Atividade, a pensar e agir cientificamente.

Por fim, compreendemos o livro como a mediação fundamental para superar a contradição identificada no processo de elaboração da resposta à questão proposta. É o uso desse recurso que promove um avanço na Atividade e permite a produção de um resultado.

6.3. Simulações e laboratórios virtuais como recursos mediacionais da disciplina Física Conceitual

6.3.1. Simulações e laboratórios virtuais no ensino de Física

As tecnologias de informação e comunicação (TIC's) estão sendo cada vez mais empregadas no ensino de ciências, e em particular no ensino de física, ao longo dos últimos anos. E no cenário pandêmico de 2020, devido ao isolamento e distanciamento social como medidas necessárias para controle da proliferação do coronavírus (Covid-19), houve a necessidade de acelerar ainda mais a implementação das TIC's no ensino remoto. Os estudos sobre o uso das TIC's no ensino de ciências frequentemente abordam os conceitos de simulações e laboratórios virtuais.

Em uma revisão sistemática de literatura, Silva e Mercado (2019) analisam estudos com foco no uso de experimentos virtuais no ensino de física, que foram publicados entre 2005 e 2015. A partir dessa análise, os autores constataam que os experimentos virtuais permitem a visualização de conceitos abstratos; a redução do tempo necessário para a preparação, coleta de dados e execução dos experimentos; possibilitam repetir o mesmo experimento várias vezes; ampliar o número de sujeitos que podem manipular o experimento; realizar experimentos que não podem ser executados em laboratórios convencionais; manipular parâmetros físicos; garantir um feedback imediato; abordar um número maior de fenômenos num intervalo de tempo menor; comumente são interativos, flexíveis, reutilizáveis e interoperáveis; não há restrições de acesso no que diz respeito ao tempo e nem lugar; permitem o desenvolvimento de novas competências; evitam que o aparato experimental seja danificado por mau uso; e favorecem a realização de trabalhos colaborativos a distância, que dificilmente seriam possíveis fora do cenário da experimentação virtual.

Gonçalves (2020) sugere que a experimentação por meio de simulações e laboratórios virtuais pode contribuir para um maior engajamento dos alunos, maior envolvimento com o trabalho em equipe através de aprendizagem colaborativa, além de incentivá-los a uma prática mais estimuladora, através do envolvimento científico com o conteúdo.

Para Paula (2017), utilizar simulações e laboratórios virtuais como mediadores das ações de professores e estudantes em uma sala de aula a partir de uma concepção sócio histórica do ensino e da aprendizagem pode fornecer uma sólida

base teórica para planejar e avaliar o ensino de ciências. O autor destaca que laboratórios virtuais constituem recursos mediacionais capazes de aumentar o protagonismo dos estudantes nas aulas de ciências, e ainda eliminam problemas que impedem a reprodução de experimentos importantes no ambiente escolar, como problemas ligados ao custo, à segurança ou ao tempo necessário para a ocorrência de certos fenômenos.

A fim de auxiliar professores a escolher o tipo de aplicativo mais adequado a um determinado objetivo pedagógico, Paula (idem) apresenta as diferenças entre simulações e laboratórios virtuais em relação ao grau de interatividade entre o estudante e o aplicativo, ao tipo de informações produzidas pelo aplicativo e ao tipo de representações predominantemente encontradas no aplicativo.

Segundo o autor, nas simulações o grau de interatividade entre o estudante e o aplicativo pode oscilar entre baixo, médio e alto, já que diversas variáveis podem ser manipuladas pelos estudantes. As simulações podem apresentar informações quantitativas, mesmo não sendo uma característica principal deste aplicativo. E neste predominam as representações de entidades e processos que constituem os modelos científicos.

Em relação aos laboratórios virtuais, Paula (idem) declara que o grau de interatividade entre o estudante e o aplicativo varia entre médio e alto, pois é possível realizar experimentos de forma muito similar como em um laboratório real. Os laboratórios virtuais permitem a realização de medidas, e neste aplicativo predominam representações de objetos e eventos que pertencem ao mundo vivido, podendo também serem combinadas a entidades e representações pertencentes aos mundos concebidos pelas ciências.

No contexto da disciplina Física Conceitual, que foi oferecida em regime remoto, os laboratórios virtuais se mostraram uma excelente alternativa para a visualização de fenômenos que não podiam ser reproduzidos no ambiente físico acadêmico, visto que cada estudante participava das aulas da sua própria casa.

6.3.2. O uso de simulações e laboratórios virtuais na disciplina Física Conceitual

Na disciplina Física Conceitual, em algumas aulas, as simulações e laboratórios virtuais foram recursos disponibilizados aos estudantes pelo professor.

Nestas aulas, os temas abordados eram mais complexos e provavelmente seria o primeiro contato dos estudantes no início do curso com os fenômenos tratados nos capítulos do livro-texto. Por esses motivos, o professor temia que apenas a leitura do texto do Hewitt não seria suficiente para dar sentido às perguntas e suporte para a Atividade autônoma dos sujeitos com as questões de física conceitual relativas aos capítulos envolvendo tais temas. Assim, o professor decidiu por utilizar os simuladores virtuais como um recurso adicional que auxiliaria os estudantes a visualizar de forma dinâmica fenômenos descritos de forma abstrata e representados de modo estático.

Nos episódios que veremos a seguir, os estudantes se apropriam desses recursos a fim de reproduzir e visualizar fenômenos que são abordados nas questões propostas nos questionários.

As simulações utilizadas estão disponíveis no Portal PhET da Universidade do Colorado. O projeto PhET Simulações Interativas cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências, que são baseadas em extensa pesquisa em educação, com testes e avaliações em sala de aula, que asseguram a eficácia pedagógica do uso dessas ferramentas no processo de ensino-aprendizagem. A página inicial do portal apresenta o objetivo das mais de 150 simulações interativas, traduzidas para diversos idiomas, que é o de envolver os alunos através de um ambiente intuitivo e investigativo, onde eles aprendem através da observação, exploração e descoberta.

6.3.3. Episódios do uso de simulações e laboratórios virtuais como recursos mediacionais

Nesta seção iremos analisar como as simulações e laboratórios virtuais são utilizados e articulados com outros recursos mediacionais durante a resolução de questões conceituais de física. Para isso, apresentaremos dados de episódios que constituíram a disciplina Física Conceitual, e observaremos como as simulações e laboratórios virtuais direcionam as ações dos sujeitos ao objeto da Atividade.

6.3.3.1. Episódio 5

O episódio apresentado a seguir aconteceu durante a décima nona aula, que tinha como referência os capítulos 24 e 25 do livro intitulados “Magnetismo” e “Indução Eletromagnética”. O enunciado da questão é mostrado na Figura 16. O tempo gasto

na resolução da questão foi de 1 hora e 6 minutos, enquanto o tempo total para responderem ao questionário completo foi de 2 horas e 35 minutos.

Figura 16: Primeira questão da aula 19. Questionário relativo ao tema Magnetismo e Indução eletromagnética.

1	<p>Para responder às questões a seguir, entre no site indicado abaixo e rode a simulação. https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/generator</p> <p>Primeira parte da simulação orientada: Na aba de solenoide.</p> <ol style="list-style-type: none"> i. Mova a espira conectada a lâmpada longe do ímã e tente fazer ela iluminar. ii. Agora repita o experimento passando o ímã por dentro da espira. iii. Deixe ela parada dentro do ímã. iv. Substitua a lâmpada pelo medidor de tensão e repita os procedimentos anteriores. <p>Proponha uma explicação para os fenômenos observados.</p> <p>Segunda parte da simulação orientada: Na aba transformador.</p> <ol style="list-style-type: none"> i. Mova a espira conectada a lâmpada passando por fora da pilha. ii. Inverta a tensão na pilha e observe o que acontece com os ímãs em sua volta. iii. Aproxime a espira e veja o sentido da corrente que passa pela lâmpada, iv. Agora afaste a espira e faça a mesma observação. v. Por fim, deixe a espira com a lâmpada imóvel próxima a pilha, e faça alterações rápidas e contínuas na tensão da pilha. <p>Proponha uma explicação para os fenômenos observados.</p> <p>Terceira parte da simulação: Na aba gerador</p> <p>Utilize essa simulação para explicar o funcionamento das hidrelétricas, não deixe de explicar a importância do controle de abertura e fechamento das comportas, bem como as dificuldades em tempos de seca prolongada ou de grande intensidade de chuva. Aproveite o momento para generalizar a explicação para outras formas de obtenção de energia elétrica, tais como: usina termoelétrica, usina eólica e alternador veicular - dispositivo que carrega a bateria do carro.</p>
---	--

Fonte: Autores.

A questão foi estruturada em três partes, que consideramos como uma constelação de três Sistemas de Atividades interconectados. Ela pede que os estudantes respondam perguntas sobre fenômenos que podem ser observados ao realizarem determinadas ações no laboratório virtual “Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday” do portal PhET.

As representações que compõem um laboratório virtual podem ser constituídas por imagens complexas, o que pode ser um desafio para os estudantes ao interpretarem tais representações. Abaixo apresentamos as imagens e elementos do Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday e como se espera que sejam interpretados.

Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday

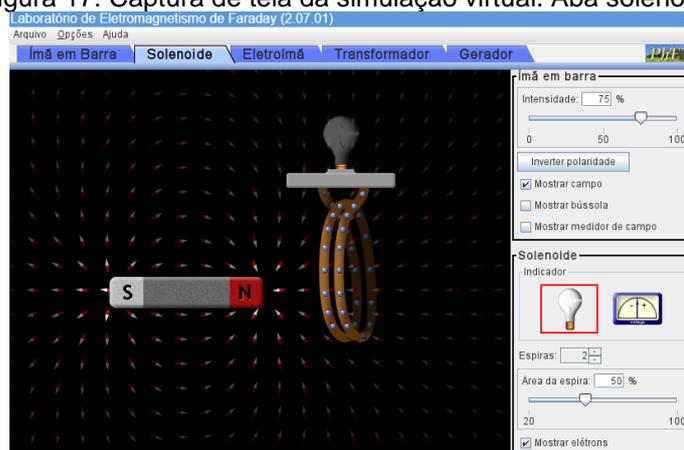
No Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday é possível analisar situações práticas que demonstram a aplicação da lei de Faraday, movendo um ímã em barra próximo de uma bobina para acender uma lâmpada, visualizar as linhas de campo magnético e utilizar eletroímãs, geradores e transformadores. Para download, basta acessar o sítio

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/faraday/latest/faraday.html?simulation=faraday&locale=pt_BR.

As simulações que os estudantes precisam acessar para realizar a atividade se encontram nas abas Solenoide, Transformador e Gerador. Explicamos cada uma delas a seguir.

Solenoide

Figura 17: Captura de tela da simulação virtual. Aba solenoide.



Fonte: Portal PhET.

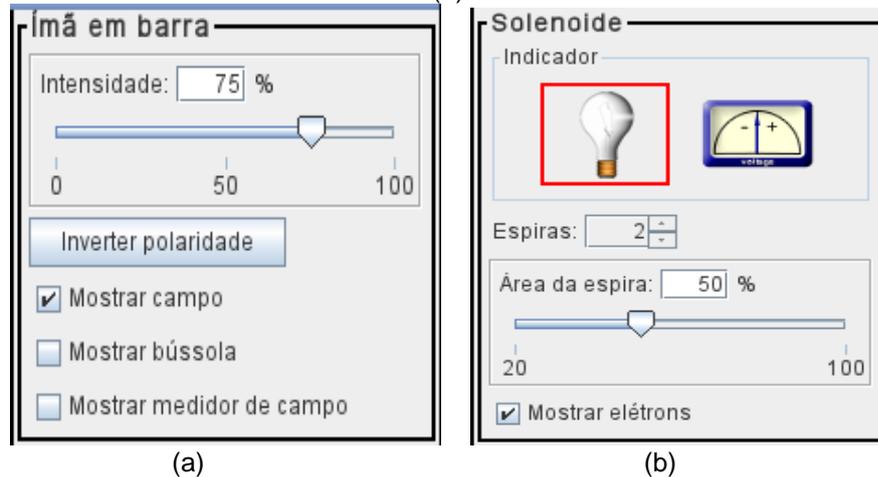
A Figura 17 mostra a representação de um solenoide ligado a uma lâmpada incandescente. Também são representados um ímã de barra, com o polo sul em branco e o polo norte em vermelho, e as linhas de campo ao redor do ímã. Tanto o ímã quanto o solenoide podem ser movimentados. Para isto, basta clicar com o botão esquerdo do mouse sobre o elemento que se quer movimentar, ímã ou solenoide e arrastar. O resultado da interação entre eles pode ser observado na variação da luminosidade da lâmpada. Esta também pode ser substituída por um medidor voltímetro, que mede a tensão nos terminais do resistor.

As esferas azuis nos fios da bobina representam os elétrons, que podem ser visualizados em movimento. Sendo que o movimento dos elétrons mostrado não é de acordo com a realidade, já que se trata de uma simulação.

Na parte superior do lado direito da aba solenoide é disponibilizado o menu Ímã de Barra (Figura 18(a)), no qual o usuário poderá interagir com a simulação, alterando a intensidade do campo magnético. É possível verificar as alterações qualitativamente através das linhas de campo e quantitativamente, através da opção mostrar medidor de campo. É possível ainda inverter a polaridade do ímã. Ao clicar em ver dentro do ímã, a simulação mostra os ímãs elementares alinhados.

Na parte inferior do lado direito da mesma simulação é disponibilizado o menu solenoide (Figura 18(b)), no qual o usuário poderá escolher o indicador de variação de tensão entre uma lâmpada e um voltímetro. É possível escolher de uma a três espiras e alterar a sua área entre 20 e 50% da área original.

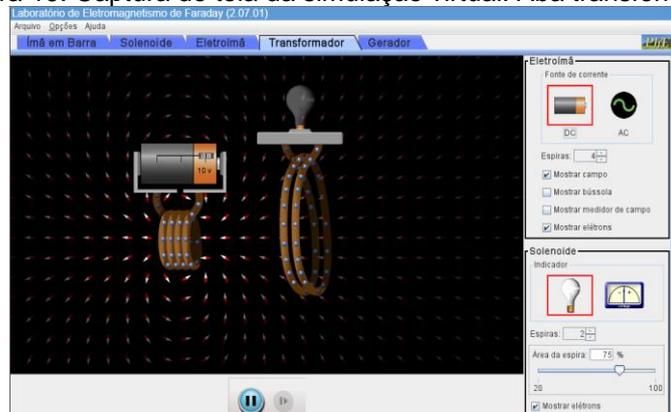
Figura 18: Captura de tela da simulação virtual. Aba solenoide. Menu Ímã em barra (a) e Solenoide (b).



Fonte: Portal PhET.

Transformador

Figura 19: Captura de tela da simulação virtual. Aba transformador.



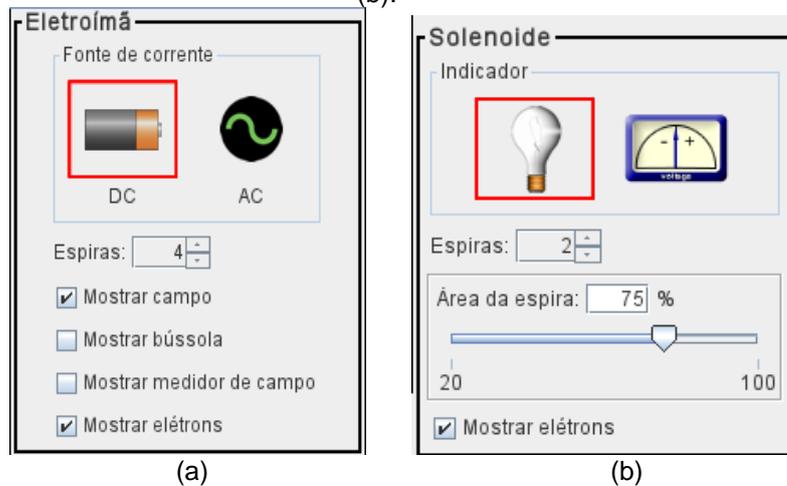
Fonte: Portal PhET.

Na aba do transformador temos duas bobinas, uma delas é acoplada a uma fonte de tensão, constituindo um eletroímã. É possível escolher o tipo de fonte na parte superior do lado direito da simulação (Figura 20(a)), que pode ser contínua (DC) ou alternada (AC). A simulação possibilita alterar o número de espiras da bobina entre uma e quatro espiras. Ela funciona como o primário do transformador. É possível ainda selecionar mostrar campo, mostrar bússola, mostrar medidor de campo e mostrar elétrons. As alterações podem ser verificadas qualitativamente através das linhas de campo e quantitativamente, através da opção mostrar medidor de campo.

A outra bobina é acoplada a um detector, que pode ser uma lâmpada ou um voltímetro, funcionando como o secundário do transformador. No menu solenoide (Figura 20(b)), ainda é possível escolher entre uma e três espiras e alterar a área da espira entre 20 e 100% da área original.

Este dispositivo é chamado de transformador porque permite a transferência de potência elétrica de uma bobina para outra, por meio da indução eletromagnética, a fim de transformar a voltagem de um valor para outro.

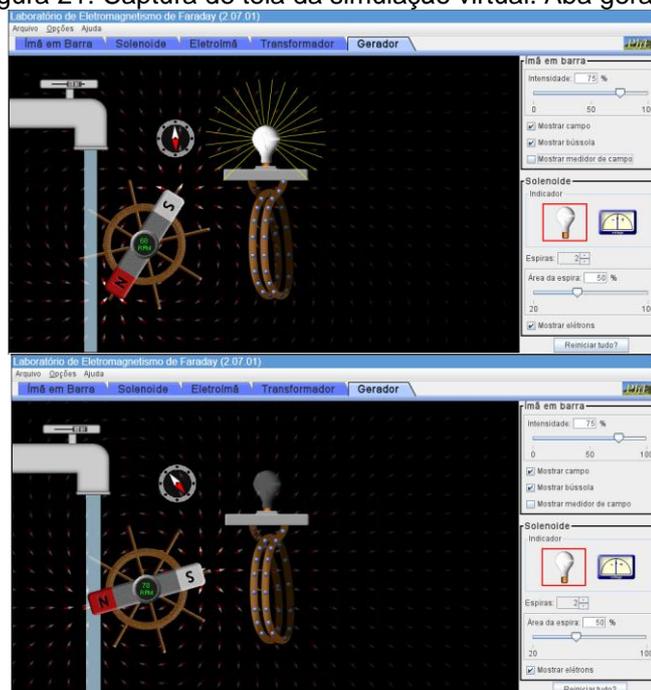
Figura 20: Captura de tela da simulação virtual. Aba transformador. Menu Eletroímã (a) e Solenoide (b).



Fonte: Portal PhET.

Gerador

Figura 21: Captura de tela da simulação virtual. Aba gerador.



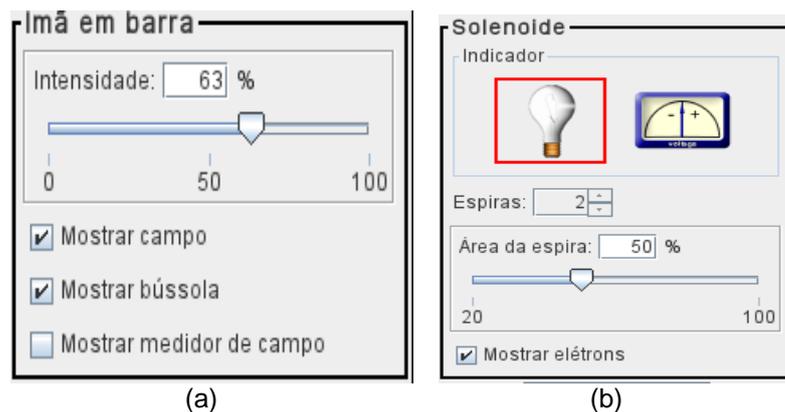
Fonte: Portal PhET.

Na última aba, gerador (Figura 21), são mostrados elementos essenciais para a geração de eletricidade. Há uma torneira, que permite controlar a vazão da água, e esta por sua vez gira a turbina, que tem uma rotação que varia entre 0 e 100 rotações por minuto (RPM). Preso à turbina, há um ímã de barra. É possível movimentar a bússola e detectar a presença do campo magnético. O giro do ímã altera o fluxo magnético dentro do solenoide, induzindo uma corrente que acende a lâmpada.

Alguns ajustes podem ser feitos no menu Ímã em barra (Figura 22(a)) e no menu Solenoide (Figura 22(b)), assim como na aba Solenoide que já foi apresentada.

Quase todos os geradores de energia elétrica funcionam baseados no princípio dessa simulação. Um maior brilho na lâmpada depende da maior vazão da água, o ímã mais forte e o maior número de espiras no solenoide, isso é resultado da lei de Faraday.

Figura 22: Captura de tela da simulação virtual. Aba gerador. Menu Ímã em barra (a) e Solenoide (b).



Fonte: Portal PhET.

PARTE 1

O episódio tem início quando o Professor explica que os estudantes terão que acessar a simulação no Portal PhET, e sugere que escolham um dos integrantes para rodar a simulação e compartilhar com os colegas. Jonas acessa a simulação e compartilha a sua tela com o grupo.

Quadro 38 - Episódio 5: Parte 1.1			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Jonas	tá / a primeira parte é isso // aí beleza / pera aí // na aba de solenoide / essa daqui é um solenoide / né (?) ah não / na aba de solenoide / entendi // oh / que legal vei // que massa	Jonas percebe que há diferentes abas na simulação, passa por todas e por fim seleciona a aba solenoide.

2	Natan	onde fica a aba de solenoide (?) ah tá / achei	Explora a simulação no seu próprio computador, sem compartilhar tela com o grupo.
3	Jonas	aqui ó / solenoide // beleza // ah vei / esperar o Lucas né	
4	Natan	a primeira parte da simulação orientada na aba de solenoide	
5	Jonas	ah / se liga ó / você tem um ímã aqui que tá fazendo o campo magnético / e quando // pera // como é que faz a espira (?)	Move o solenoide ao redor do ímã.
6	Natan	passa por dentro ue / sei lá	Jonas move o ímã dentro da bobina.
7	Jonas	ah / genial Natan // pera aí // não // existe um jeito que brilha (a lâmpada) até mais que passar por dentro	
8	Natan	não fica (acesa) / tá ligado (?)	
9	Jonas	não fica // pera aí / que que pede (?) calma // “mova a espira conectada longe do ímã e tente fazer ela iluminar”	Move o solenoide ao redor do ímã e a lâmpada acende e apaga constantemente.
10	Natan	longe do ímã // longe do ímã já não dá	
11	Jonas	não fica // não fica / vei / olha // tô indo fazer ela ficar iluminada primeiro / não fica	Move o ímã dentro da bobina e a lâmpada acende e apaga constantemente.
12	Natan	então / longe do ímã não dá // mas pertinho dá	
13	Jonas	não / nem pertinho mano // a sua fica (?) Tipo	
14	Natan	ah / ilumina às vezes	
15	Jonas	é / ilumina às vezes // nu olha isso aqui / pera aí // ah / tá / longe não dá / longe do campo magnético / e perto dá / beleza / “agora repita o experimento passando o ímã por dentro da espira” / “deixe ela parada dentro do ímã”	Move o ímã dentro da bobina e em certo momento a lâmpada apresenta um brilho muito alto. Move o ímã longe da bobina e a lâmpada não se acende.

			Deixa o ímã parado dentro da bobina e a lâmpada não se acende.
16	Natan	como é que é que pediu (?) deixa eu ver	
17	Jonas	pra repetir essa parada deixando o // mas não fica ligada vei	
18	Natan	às vezes liga	
19	Jonas	às vezes liga // se aumentar as espiras será que funciona (?) não / não faz diferença / tipo / quer dizer / deve fazer diferença / mas eu não tô vendo nenhuma	Varia o número de espiras no menu Solenoide e a lâmpada não se acende.
20	Natan	eu também não // deixa ela parada dentro do ímã	
21	Jonas	tá // ela tá parada aqui / às vezes ela acende e às vezes não	Move o ímã dentro da bobina e a lâmpada acende e apaga constantemente.
22	Natan	não pô / parada	
23	Jonas	parada / aqui ó	Deixa o ímã parado dentro da bobina e a lâmpada não se acende.
24	Natan	ela nunca acende	
25	Jonas	ela não acende // tá / “substitua a lâmpada pelo medidor de tensão e repita os procedimentos anteriores” / tá / como é que troca pelo medidor de tensão (?)	

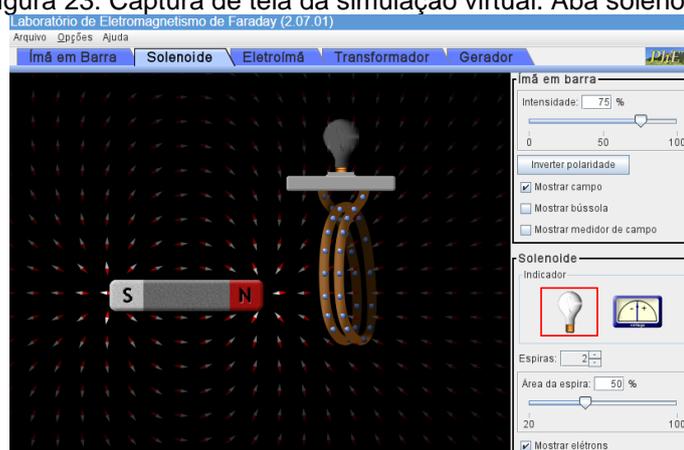
No início da primeira parte do episódio apenas os integrantes do grupo Jonas e Natan estão presentes, Lucas e Samuel ainda não entraram na sala virtual. Jonas começa a manipular os objetos disponíveis na aba “solenoide” (Figura 23), Natan sugere que ele passe o ímã dentro da bobina, e quando ele realiza essa ação percebem que a lâmpada acende, mas não fica acesa de forma contínua. Seguindo o primeiro comando da questão, que é mover a bobina conectada à lâmpada longe do ímã e tentar fazer ela iluminar, Natan constata a que lâmpada não acende (turno 10). Jonas move a bobina ao redor do ímã em diversas posições, depois deixa a bobina parada e passa a mover o ímã, e ele parece ficar intrigado com o fato de a lâmpada não permanecer acesa, mas apenas brilhar em alguns momentos (turno 11 e 13). Natan percebe que apesar de a lâmpada não brilhar quando a bobina é movida longe

do ímã, quando esse movimento acontece perto do ímã a lâmpada acende (turno 12). Ao continuar movendo o ímã dentro da bobina e fora dela, Jonas percebe o que Natan estava dizendo, que longe do campo magnético do ímã a lâmpada não acende, mas perto sim.

O segundo comando da questão é repetir o experimento passando o ímã por dentro da bobina, o que já tinha sido feito por Jonas ao explorar a simulação. Ele deixa o ímã parado dentro da bobina, realizando o terceiro comando da questão, e altera o número de espiras e a área de seção reta das espiras na tentativa de observar algo diferente, mas nada acontece (turno 19). Natan conclui que ao deixar o ímã parado dentro da bobina a lâmpada nunca acende (turno 24).

Nesta primeira parte, os estudantes agem para obter resultados e registram observáveis. Esses observáveis serão ponto de partida para interpretações e inferências, como veremos nos trechos seguintes.

Figura 23: Captura de tela da simulação virtual. Aba solenoide.



Fonte: Portal PhET.

Quadro 39 - Episódio 5: Parte 1.2			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
26	Natan	não tenho nem ideia // ali ó / tem um mostrar medidor de campo / será que é isso (?)	
27	Jonas	acho que não // pera aí / pediu pra gente colocar o que ali no lugar (?)	No menu Ímã de barra seleciona a opção "Mostrar medidor de campo".
28	Natan	medidor de pressão (?)	
29	Jonas	de tensão	
30	Natan	ah / de tensão // ali ó / do lado da lâmpada	Indica que o medidor de tensão se encontra no

			muno Solenoide na parte de Indicador.
31	Jonas	olha / quando inverte a polaridade dá pra tipo / ver que ela acendeu pra caramba	Explorando a simulação, seleciona o botão Inverter polaridade no menu Ímã de barra. A lâmpada apresenta um brilho muito forte quando a polaridade do ímã é invertida.
32	Natan	ali ó / em solenoide Jonas / na direita / indicadores	
33	Jonas	aqui né (?)	Move a bobina em torno do ímã e a seta do medidor de tensão também se move.
34	Natan	aham // mudou alguma coisa (?) ah / mudou	
35	Jonas	pra mim não mudou não	
36	Natan	mudou a setinha / olha a setinha / quando você movimenta o bagulho	
37	Jonas	é // então dá pra ver que tem diferença de potencial // beleza	Move a bobina em torno do ímã e a seta do medidor de tensão também se move.
38	Natan	como é que inverte o (?)	
39	Jonas	inverter polaridade / aqui ó / quando eu inverte você viu que a tensão vai tipo / mó pra um	
40	Natan	muda / aham	
41	Jonas	doido / doído / legal (9s) tá / “proponha uma explicação para os fenômenos observados” / ô véi / cadê os caras (?) caramba	Questiona o fato dos colegas Lucas e Samuel ainda não terem entrado na sala virtual.
42	Natan	porque eu não sei a explicação não / você sabe (?)	
43	Jonas	acho que sim / mano / só que pô / eu não tenho certeza	
44	Natan	o Samuel / a internet do Samuel caiu	
45	Samuel	voltei	

Os estudantes exploram os recursos disponíveis no simulador a fim de encontrarem o medidor de tensão, necessário para realizar o que se pede no quarto comando da questão. Durante essa exploração, Jonas percebe que ao inverter a

polaridade do ímã a lâmpada brilha intensamente (turno 31) e que o ponteiro do medidor de tensão sofre uma variação máxima (turno 39), mas não propõe uma explicação para o que foi observado. Natan também percebe que o ponteiro do medidor de tensão se movimenta quando o ímã é movimentado dentro da bobina.

Até esse momento, o diálogo entre os dois estudantes presentes se limita a descrições do que estão observando, parte importante de familiarização com a montagem e de registro de observáveis. Natan afirma que não sabe explicar os fenômenos observados (turno 42), e mesmo Jonas dizendo que tem alguma explicação ele parece sentir necessidade de discutir com os colegas para chegar em uma boa resolução para a questão. Essa necessidade de Jonas é uma evidência de que o trabalho em pequenos grupos e a discussão entre pares que é promovida nesse tipo de sala de aula é de suma importância para a aprendizagem em física.

O episódio também evidencia uma limitação do ensino remoto, que é a necessidade de acesso a uma internet estável e de qualidade. Quando os estudantes enfrentam dificuldades nesse acesso, como é o caso de Samuel e Lucas neste episódio, fica claro que a evolução da discussão do grupo é prejudicada com a ausência dos integrantes.

Quadro 40 - Episódio 5: Parte 1.3			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
46	Jonas	oh // seguinte / vou compartilhar a tela mano // tá vendo (?) tá // oh / a gente tem o ímã aqui / e o solenoide com uma lâmpada / aí quando a gente move / quando tá longe ela não ilumina / quando a gente coloca dentro a lâmpada ilumina vei // só que essa simulação pra gente tá com um erro / tanto pra mim quanto pro Natan / se deixar parada ela não ilumina vei / mas se a gente der uma mexidinhas assim ela fica iluminando / tá vendo (?)	Apresenta os elementos da aba Solenoide para o colega. Move o solenoide longe do ímã e a lâmpada não se acende. Move o solenoide em torno do ímã e a lâmpada acende e apaga constantemente.
47	Samuel	mas não é erro não	
48	Jonas	sério (?) não é não (?)	
49	Samuel	sério // é normal isso	
50	Lucas	bom dia galera / faz mais de 40 minutos que eu tô tentando entrar	Teve problemas com o acesso à internet.
51	Jonas	já rodamos a primeira simulação // aí tá perguntando se / pra gente propor uma explicação	

		para os fenômenos observados / a lâmpada acende quando ela é colocada dentro da espira ve // hum / ô Samuel / por que que tá certa mano (?)	
52	Samuel	mano / que que acontece / como que você cria corrente elétrica ou campo magnético (?) fazendo oscilar uma oscilação de corrente magnética ao longo do tempo // o movimento das cargas na espira e a interação dela com o campo magnético / isso aí é lei de Lenz / se eu não tiver enganado // é lei de Lenz ou lei de Faraday / só você pegar uma das duas leis / o movimento de uma espira carregada ao longo de uma / o movimento de um ímã carregado ao longo de um eixo movimentando paralelo a espira // agora quer fazer um bagulho legal (?) você consegue inverter o ímã (?)	
53	Jonas	Consigno	Move o ímã dentro da bobina.
54	Samuel	não / não // tipo a orientação dele / deixar ele vertical	
55	Jonas	hum / não sei // eu não sei fazer isso	
56	Samuel	tenta aí eu	
57	Lucas	deixar ele vertical / ele pôs o	
58	Samuel	você vai ter que girar o mouse provavelmente / pegar ele assim e girar o mouse	
59	Jonas	tô tentando / tô tentando fazer isso / usei a bolinha / opções / não sei velho	Tenta girar o ímã arrastando com o mouse, mas nada acontece.
60	Samuel	bota mais espiras ali também	
61	Jonas	não tem como botar mais de três aqui / já tentei / o máximo é três	Varia o número de espiras no menu Solenoide.
62	Samuel	isso aí é lei de Faraday e lei de Lenz // e aí você pode fazer um bagulho mais legal / a hora que você mover esse ímã aí verticalmente / perpendicular ao campo magnético / o ímã / a lâmpada não vai acender	
63	Lucas	é ue / tipo / o // quando alguma coisa tá em relação paralela com o campo / não há interação	

No turno 46, Jonas descreve para Samuel os experimentos que foram realizados e o que foi observado, e para ele, o fato de a lâmpada não acender quando o ímã é mantido parado dentro da bobina é um erro da simulação. Como o estudante não discorre mais sobre essa afirmação não é possível saber que ideias o levaram a pensar que a lâmpada devesse acender mesmo quando o ímã está parado no interior da bobina e não há variação do fluxo magnético. Samuel, que provavelmente já esperava que isso acontecesse, informa ao colega que não há um erro na simulação, e justifica isso mais à frente no turno 52. Essa informação trazida por Samuel gera um ponto de tensão no grupo em relação à fidelidade da simulação aos fenômenos físicos reais, já que até então Jonas considerava haver um erro na simulação.

Como se verá adiante, mesmo usando termos errados como “corrente magnética” e “ímã carregado”, Samuel oferece indícios de que é capaz de entender que o movimento de cargas elétricas produz um campo magnético e que a variação de um campo magnético em uma bobina gera corrente elétrica. O estudante não sabe ao certo se esse fenômeno, que é a indução eletromagnética, está associado à lei de Faraday ou à lei de Lenz, mas adiante, no turno 91 ele conclui que a indução eletromagnética é resumida pela lei de Faraday, que é enunciada no livro-texto da seguinte maneira: “A voltagem induzida em uma bobina é proporcional ao produto do número de espiras pela área da seção transversal de cada espira e pela taxa com a qual o campo magnético varia no interior das espiras.”

Samuel já cursou a disciplina de eletromagnetismo do ciclo básico do curso de Física e, por isso, possui mais conhecimento do conteúdo em relação aos colegas que ainda não estudaram com profundidade esse tema. Ele vai além do que a questão pede ao sugerir que o ímã seja rotacionado em 90° (turno 54). Caso o ímã seja posicionado desse modo, as linhas de indução do campo magnético do ímã não mais atravessam as espiras e não há variação do fluxo magnético, o que impossibilitaria o brilho da lâmpada ao movimentar o ímã ou a própria bobina. Como a simulação não permite a rotação do ímã, o grupo não consegue observar o resultado previsto por Samuel no turno 62.

Quadro 41 - Episódio 5: Parte 1.4			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
64	Professor	bom dia turma / beleza (?) gostaram da simulação aí (?)	
65	Samuel	sim	

66	Jonas	gostamos / estamos / é / tipo assim / a gente entendeu que / tá vendo minha tela aqui (?) a gente tá vendo que a lâmpada acende quando a espira tá / aliás / o ímã tá dentro da espira se movendo / só que tipo / não era pra ela ficar acesa ou não (?)	Move o solenoide com o ímã parado em seu interior e a lâmpada se acende.
67	Professor	fora também acende / põe lá do lado de fora / põe assim pertinho / põe lá fora / isso / embaixo / no meio / isso // mira como se fosse no centro da espira / agora pega a espira / não vamos mexer no ímã não / tanto faz mexer no ímã ou na espira / mexe ela pro lado rapidão / não / não passa dentro do ímã // alá / ela acende ó	Jonas move o solenoide se afastando do ímã e a lâmpada se acende.
68	Jonas	acende um pouquinho	
69	Professor	hum / então temos algumas evidências aí né / a primeira delas é a história do movimento né / passa dentro do ímã / passa bem devagar / agora passa bem rápido /	Jonas move o solenoide lentamente com o ímã parado em seu interior e a lâmpada apresenta um brilho baixo. Move o solenoide rapidamente e a lâmpada apresenta um brilho alto.
70	Lucas	quando chega no meio ela apaga / porque tipo / de acordo com a	
71	Professor	então pera aí / a velocidade também tem a ver / não tem (?)	
72	Jonas	uhum	
73	Samuel	sim	
74	Natan	tem	
75	Professor	isso é louco / não é (?)	
76	Jonas	negócio legal	
77	Professor	dá um pulinho ali no gerador / lá no alto	
78	Jonas	gerador / hã (?)	Abre a aba Gerador.
79	Professor	abre um tiquinho a água / agora abre muito	Jonas abre a torneira com uma pequena vazão de água, o ímã gira e a lâmpada acende e apaga, brilhando fracamente.

			Ao aumentar a vazão da água, o brilho da lâmpada aumenta.
80	Jonas	ah / legal // doideira	
81	Lucas	tá / isso é insano / isso aí eu nunca tinha pensado na minha vida // isso é insano	
82	Professor	volta lá no solenoide	
83	Jonas	ah / legal / legal	
84	Lucas	isso é muito insano	
85	Jonas	da hora // tá / então tá certo isso aqui / lógico né	
86	Professor	se você / agora para ele em qualquer posição / se parar	Jonas deixa o ímã parado dentro da bobina.
87	Jonas	não acontece nada / hum / legal / agora a explicação pra isso // eu não tenho / sei lá / eu tô aberto à discussão / não sei o porquê	
88	Lucas	eu tenho uma resposta aqui / deixa eu só formular ela direitinho	
89	Professor	daqui a pouco eu volto // no capítulo tem vários indícios disso aí	O Professor sai da sala virtual.
90	Lucas	tem sim	

Ao receberem a visita do Professor na sala do grupo, fica evidente que Jonas ainda não compreende o fenômeno da indução eletromagnética, já que ele ainda tem dúvida se a lâmpada deveria realmente apenas brilhar algumas vezes e não ficar ligada continuamente (turno 66). No turno 67 o Professor esclarece que não é só o movimento do ímã dentro da bobina que faz a lâmpada acender, o movimento próximo à bobina já provoca o mesmo efeito. Ele também chama atenção para o fato da intensidade do brilho da lâmpada depender de quão rápido as linhas de indução do campo magnético do ímã estão entrando ou saindo da bobina, e sugere a observação de um movimento lento, que dificilmente produz algum brilho, e de um movimento rápido, que produz um brilho intenso (turnos 67, 69, e 71).

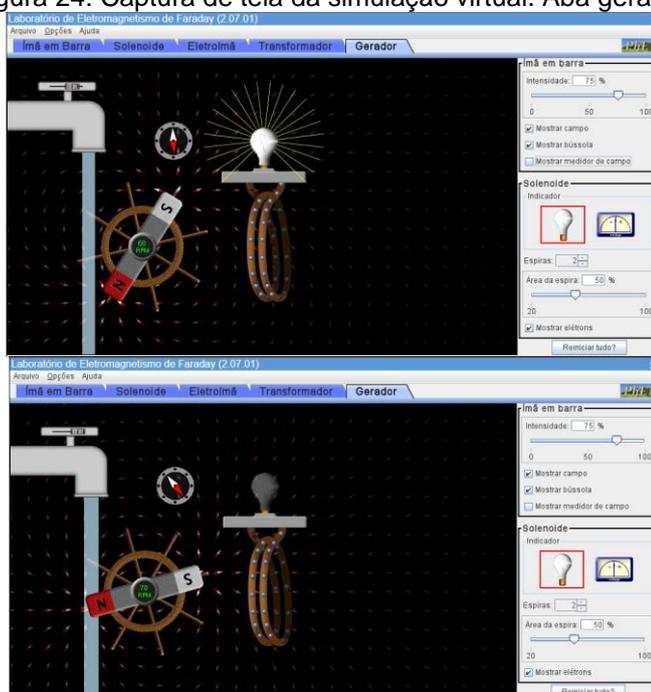
O Professor ainda sugere que o grupo explore outra aba da simulação, a aba “gerador” (Figura 24). Os estudantes observam que a água que cai da torneira gira uma turbina, que tem presa a ela um ímã. Durante o giro do ímã, o campo magnético varia sua direção, de modo que em alguns momentos as linhas de indução atravessam as espiras e há variação do fluxo magnético, e em outros não. Quando há variação do

fluxo magnético surge uma voltagem induzida na bobina e a lâmpada se acende, quando não há a lâmpada se apaga. O que os estudantes observam então é o brilho da lâmpada aumentando e diminuindo ao longo do tempo, e eles parecem ficar surpresos com o fenômeno observado (turnos 80, 81, 82 e 84).

As explicações do Professor vão atenuando a tensão relacionada à fidelidade da simulação aos fenômenos físicos reais, até que no turno 85 Jonas demonstra ter se convencido de que não há erros na simulação e os fenômenos observados acontecem daquela maneira se o experimento for reproduzido de forma real também. Mais uma vez fica evidente que ele não tem conhecimento do fenômeno de indução eletromagnética, nos levando a inferência de que ele não realizou a leitura prévia de um dos capítulos do livro indicado para a aula. O Professor reforça a importância dessa leitura para a discussão em grupo ao apontar que há vários indícios do fenômeno observado no capítulo do livro (turno 89).

Até este momento, as ações dos estudantes são direcionadas a realizar os comandos propostos na questão e outros sugeridos pelo professor, explorando a simulação e fazendo observações.

Figura 24: Captura de tela da simulação virtual. Aba gerador.



Fonte: Portal PhET.

Quadro 42 - Episódio 5: Parte 1.5			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários

91	Samuel	aqui ó / vou pegar aqui lei de Faraday / “a voltagem induzida na bobina é proporcional ao produto do número de espiras pela área da seção transversal de cada espira e pela taxa com a qual o campo magnético varia no interior das espiras” // acho que se a gente tiver isso em mente / a gente vai ter / a gente vai conseguir resolver isso mano	Consulta o livro-texto e lê um trecho.
92	Lucas	então pera / as evidências que a gente teve foi / é / a posição em relação ao campo magnético / e tipo / a velocidade tá relacionada a isso (?) foi o que você falou Samuel (?) é essa a resposta que a gente tá montando (?)	
93	Samuel	mano / não exatamente	
94	Lucas	falando em relação só a acender / não à velocidade	
95	Samuel	que a voltagem induzida na bobina é proporcional ao produto do número de espiras pela área da seção transversal de cada espira e pela taxa com a qual o campo magnético varia no interior delas // por que o campo magnético tá variando (?)	
96	Lucas	porque se não	
97	Jonas	ele varia quando a gente mexe o ímã né	
98	Natan	é	
99	Samuel	ou quando a gente mexe a corrente do lado dele / mexe lá pra você ver	
100	Jonas	não / tipo assim / ela não / não é que / é / quando você mexe a espira / tipo assim / não é o campo magnético que tá variando / mas em relação a ela tá variando	Move a bobina com o ímã dentro parado.
101	Samuel	não não / o campo magnético tá variando mano / porque a corrente vai variar / entendeu (?)	
102	Jonas	quando eu mexo o ímã dá pra ver que varia	Move o ímã enquanto a bobina fica parada.
103	Samuel	sim // agora mexe só / o ímã parado e a lâmpada correndo perto dele	
104	Jonas	tipo / em relação a lâmpada o campo varia sim	Move a bobina enquanto o íma fica parado.
105	Samuel	sim / o campo varia // se você pegar e colocar algum jeito de fazer com que aquele bagulhinho ali atrás do /	

		o sentido do ímã mexa / você vai ver o campo oscilando na hora que você tá mexendo a lâmpada	
106	Natan	sim	
107	Jonas	entendi	
108	Lucas	tipo assim / é // engraçado / a resposta que eu tenho pra isso já tá no 24.7 / forças magnéticas / que é exatamente aquilo sobre / sei lá / se você conseguisse virar o ímã e deixar ele na vertical ali e movesse / exatamente paralelo / ele não ia se mexer / entendeu (?) ó / não ia ter interação	Se refere à seção 24.7 do livro-texto.
109	Samuel	mano / o que a gente tem que colocar aí é o seguinte / nesse experimento a gente tem que atentar a algumas coisas / certo (?) a primeira delas é a perpendicularidade do movimento / a segunda é a lei de Faraday / a terceira é a lei de Lenz // porque a gente tem três casos aí possíveis / a gente tem caso um o ímã se movimenta e a lâmpada fica parada e a gente vê que tem um aumento no brilho da lâmpada / caso dois esse aumento do brilho da lâmpada é muito intenso / caso três a lâmpada se movimenta no ímã / mas o brilho dela é menos intenso // a gente tem o problema do ímã parado e da bobina parada / e da lâmpada parada em cima da bobina / do ímã que não vai gerar corrente / que não tem brilho // o problema dois é quando o ímã se movimenta com relação a lâmpada e gera muita luminosidade // e o problema três é quando um ímã fica parado e a lâmpada se movimenta e gera pouca intensidade de luz / por que (?) vamos lá / a explicação do primeiro é lei de Faraday / do primeiro caso / que é a bobina se movimentando com relação ao ímã / nesse caso a intensidade de corrente que vai ser induzida pelo ímã no bagulho é proporcional ao número de espiras e a variação do campo magnético que esse movimento de carga vai produzir no ímã // no segundo caso é lei de Lenz / o que acontece / nossa velho / vocês não tem ideia de como é difícil explicar isso sem falar uns bagulhos / fraga (?) tem até porque a intensidade é menor / que que acontece mano / nossa / eu já fiz isso vei / mano / pera aí / um segundo	Procura em seus materiais anotações já realizadas sobre o tema.

110	Jonas	mano / isso tá no livro vei (?)	
111	Samuel	tá no Halliday	
112	Jonas	então / tipo / igual o Lucas falou / 24.7 tá respondendo isso vei	
113	Lucas	you pegou a 24.7 aí (?)	
114	Jonas	é / eu li aqui // uma partícula carregada e em repouso não interage com um campo magnético estático // mas se esta partícula se mover em um campo magnético / o caráter magnético de uma carga em movimento se manifesta	
115	Lucas	exatamente // você inicia a resposta / aí depois a gente faz a analogia ao que tá acontecendo ali / a gente vai mostrar o que seria essa carga e aonde estaria gerando um campo magnético / e qual seria a força que estaria acontecendo ali // só que no caso / não é a força / tipo assim / a gente não tá levantando a lâmpada ou abaixando o ímã / o que tá acontecendo é que a lâmpada tá acendendo / entendeu (?)	
116	Jonas	aham / tá gerando corrente // eu vou colocar essa introdução então	
117	Samuel	mano / fiz essa conta recentemente na minha vida	Procura em seus materiais anotações já realizadas sobre o tema.
118	Lucas	eu acho que é mais fácil a gente explicar da maneira simples Samuel	
119	Natan	também acho	
120	Samuel	vocês que sabem / mas enfim / são esses três fatores	

Baseados em diferentes recursos mediacionais, como teorias, conhecimentos prévios e seção do livro-texto, os estudantes iniciam a construção de uma explicação para os fenômenos observados.

Samuel propõe no turno 91 que se fundamentem na lei de Faraday para construir uma resposta, o que é uma proposição acertada já que essa lei explica o fenômeno de indução eletromagnética observado. Lucas também parece apontar corretamente no turno 92 que o fenômeno observado foi influenciado pela posição da bobina em relação ao campo magnético do ímã e pela velocidade com que o ímã ou a bobina eram movimentados.

Na tentativa de direcionar o grupo ao seu pensamento, Samuel repete o enunciado da lei de Faraday e pergunta para os colegas por que o campo magnético varia (turno 95). Discutindo com Jonas, eles concluem que há um campo magnético variável no interior da bobina tanto na situação em que a espira move através do campo magnético do ímã quanto na situação em que o ímã se move próximo à espira.

Lucas aborda novamente a questão de não haver variação do fluxo magnético se o ímã for colocado na vertical, mas não explora muito essa ideia. Esta observação mostra que o estudante compreendeu e compartilha pressupostos do argumento sugerido por Samuel nos turnos 54 e 62.

No turno 109, Samuel parece considerar que a voltagem induzida na espira quando o ímã se move é diferente de quando é a própria bobina que é movimentada, já que, segundo ele, na situação em que o ímã é movido o brilho da lâmpada é alto, enquanto é baixo na situação em que o ímã permanece parado e a bobina que se move através de seu campo magnético. Isso não foi observado por ele na simulação, pois a voltagem induzida é a mesma nas duas situações e, portanto, a corrente induzida e o brilho da lâmpada também são iguais. Ele parece ter essa ideia por uma compreensão equivocada da lei de Lenz, que trata da determinação do sentido da corrente induzida nas espiras e não de seu módulo. O estudante tem dificuldade de expressar para os colegas uma explicação que ele já viu apresentada no livro Fundamentos de Física Volume 3 dos autores Halliday Resnick e Walker, que é muito utilizado como livro-texto em disciplinas de Eletromagnetismo no ciclo básico de cursos de graduação em ciências e engenharias. Assim, Samuel procura fazer uma síntese para os colegas dos pontos principais envolvidos na atividade. Ao final, percebendo não ter sido bem-sucedido, evoca um tratamento matemático talvez como suporte para organizar o pensamento ou, ainda, como instrumento de persuasão do grupo. A tentativa de introduzir ferramentas matemáticas complexas na discussão não é aprovada pelo restante do grupo (turnos 118 e 119), que parece não estar conseguindo acompanhar o raciocínio de Samuel e provavelmente se preocupam em construir uma resposta que possa ser entendida por um aluno do Ensino Médio, respeitando essa regra da Atividade.

Até esse ponto da discussão os alunos não mencionam que o fenômeno observado é o de indução eletromagnética. Um fator que pode ter contribuído para que alguns integrantes do grupo não tenham feito essa associação imediata é que a

princípio o capítulo 25 do livro “Indução eletromagnética” não seria tema dessa aula, e foi incluído pelo Professor de última hora como parte da leitura prévia que os estudantes deveriam realizar. Assim, é provável que alguns deles não tenham lido o capítulo sobre indução eletromagnética, e também é possível que tenham tido pouco ou nenhum contato com esse conceito anteriormente no Ensino Médio, o que impossibilita já terem algum conhecimento do assunto.

Os estudantes então recorrem ao capítulo 24 do livro que trata de magnetismo, talvez por considerarem que esse era o capítulo principal de referência da aula.

Vale salientar que o capítulo 24 trata do magnetismo a partir de uma modelagem submicroscópica (o que gera e como atua um campo magnético) ao contrário do conteúdo da questão em foco (e da simulação do PhET a ele associada), que lida com o fenômeno concreto da indução eletromagnética (interações entre magnetismo e eletricidade). Os estudantes, nesta parte da Atividade, voltam-se para um exame teórico do magnetismo, tomando o livro-texto como principal recurso mediacional e buscando alguma conexão entre estes modelos teóricos e as situações e representações apresentadas na simulação.

Quadro 43 - Episódio 5: Parte 1.6			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
121	Lucas	tipo assim / o que acontece com o elétron / é que tipo / ele // atua uma força nele né / que tipo / a partícula ela começa a se mover perpendicularmente / nem todas né / mas enfim / e se essa partícula tá se movendo / ela tem energia ali né / porque ela foi desviada e tal / e tudo o mais / sofreu uma força / então tipo / eu só não sei conectar como que isso faz a lâmpada acender / como se o elétron entra magicamente dentro da lâmpada	
122	Samuel	mano / não é que // ah velho / ah mano / é muito difícil // não é que o elétron entra magicamente dentro da lâmpada / é que a variação do movimento dele / do movimento do final da corrente tá acontecendo dentro daquela espira devido a velocidade v que ela tá tendo / devido ao movimento dela / tá produzindo uma variação na corrente / e essa variação na corrente varia o campo magnético / o campo magnético variando gera outra corrente que vai acender a lâmpada // é bizarro mano / mas é isso / resumidamente é isso // isso é pro caso do ímã se movendo em relação a lâmpada / pro caso da lâmpada se	

		movendo em relação ao ímã é por causa do movimento dela // e aí é o que tá no livro mesmo	
123	Jonas	pronto / coloquei essa introdução aqui ó	
124	Lucas	colocou (?) aí tipo / você acha que a resposta pode ser (?) a gente explica a força que o negócio tá sofrendo e ele vai ter o deslocamento / aí o Samuel completa com o que ele acabou de falar / que é meio difícil de explicar	
125	Jonas	o que que o Samuel falou (?) tô escrevendo	
126	Samuel	que que você escreveu (?)	
127	Jonas	mandei aí // tipo assim / eu sei que uma corrente elétrica passando por um solenoide / ela gera um campo magnético / só que tipo / sobre essa recíproca eu não sei falar	
128	Samuel	então / a recíproca também é verdadeira mano / um campo magnético passando por um solenoide também gera corrente elétrica	
129	Jonas	tipo / o exercício também fala pra gente / aqui ó / deixa eu compartilhar minha tela / pra gente substituir a lâmpada por um medidor de tensão / ó	Volta a compartilhar sua tela mostrando a simulação.
130	Samuel	então / o da tensão ele serve só pra você ver a intensidade do bagulho / se você pegar	
131	Jonas	ó a setinha / tá tendo uma diferença de potencial / ó // vou fazer pra vocês verem / ó a setinha como que fica quando ele entra lá	Deixa o ímã parado e move o solenoide ligado a um medidor de tensão. A seta que indica o valor da tensão se move.
132	Lucas	calma aí / calma aí / deixa eu ver // hum / entendi	
133	Samuel	isso aí mano é o que a gente chama de corrente induzida // uma corrente que não era pra existir / é como se / mano // veio / basicamente o elétron quando ele tá passando pelo ímã / ele tá saltando de um potencial pro outro / é isso que a gente vê quando o medidor de tensão fica oscilando /	

		bota fé (?) é por isso que tem a corrente / por causa disso / o negócio chama corrente induzida	
134	Jonas	repete a explicação / que acho dá pra colocar isso	
135	Samuel	eu vou pegar um bagulho que eu fiz aqui recentemente / e tem muito a ver com isso vei / e não é matemática / ele perguntou um bagulho físico e eu respondi na moral mesmo	Procura em seus materiais anotações já realizadas sobre o tema.
136	Lucas	ah / se pá eu matei aqui / deixa eu só ler aqui	
137	Samuel	mano / é tão difícil explicar as coisas sem usar matemática // juro / olha aqui / se vocês quisessem explicar com matemática era isso aqui ó / acabou o problema // nossa velho / e também é tão difícil explicar sem ter os termos / mano // ah / vamos lá	Mostra uma folha de papel com cálculos.

Ao consultar o capítulo 24 do livro, Lucas conclui que a explicação para o fenômeno observado na simulação deve ser construída com base no conceito de força magnética (turno 121), que é a força que surge em uma carga que atravessa um campo magnético. Acontece que as cargas que compõem as espiras só entram em movimento com o surgimento de uma voltagem induzida, que surge apenas depois de haver variação do fluxo magnético devido ao movimento do ímã ou da bobina. Antes disso, como não existe uma bateria ou outra fonte de tensão no circuito, não há corrente. Como o conceito de força magnética não explica o brilho da lâmpada, o estudante tem dificuldade de entender o surgimento da corrente que acende a lâmpada. Ele também parece não entender que os elétrons que se movimentam pelo filamento da lâmpada quando é estabelecida uma corrente induzida já faziam parte do filamento, e não são provenientes de fora da lâmpada.

No turno 122, Samuel explica a Lucas que o elétron não aparece magicamente dentro da lâmpada, mas também comete erros ao dizer que movimentar a bobina gera uma variação na corrente e isso ocasiona a variação do campo magnético dentro das espiras, o que faz surgir uma corrente induzida que acende a lâmpada. De fato, uma variação na corrente faz surgir um outro campo magnético, mas a corrente não existe antes do surgimento da voltagem induzida, então não é possível que haja variação de corrente. Ele também continua distinguindo erroneamente a situação do ímã parado enquanto a bobina se move e bobina parada enquanto o ímã que é movimentado.

O fato da maioria do grupo parecer não ter conhecimento sobre o fenômeno de indução eletromagnética faz surgir uma nova tensão na Atividade, pois os estudantes têm dificuldade de associar os conhecimentos que possuem sobre magnetismo e eletricidade com o fenômeno observado na simulação. Isso fica evidente na fala de Jonas de que tem ciência que uma corrente elétrica passando por um solenoide gera um campo magnético, mas não sabe se a variação de um campo magnético produz corrente elétrica (turno 127).

As tensões acumuladas no Sistema de Atividade analisado geram uma contradição entre recursos mediacionais e objeto da Atividade, já que os conhecimentos teóricos dos estudantes parecem não ser suficientes para que expliquem o fenômeno da indução eletromagnética observado. Essa contradição mobiliza principalmente o estudante Samuel, que tenta recorrer a seu repertório de conhecimento construído ao longo de sua trajetória para propor melhores explicações. Ele dá alguns esclarecimentos para os colegas, como a informação de que a variação de um campo magnético produz sim corrente elétrica (turno 128), e suas explicações parecem promover um avanço na Atividade do grupo no sentido de superar a contradição apontada, mas isso não acontece completamente. Ao trocarem a lâmpada por um medidor de tensão, os estudantes observam o surgimento de uma voltagem no circuito, mas apresentam dificuldade em propor uma explicação (turnos 136 e 137) pela falta de domínio dos termos científicos necessários.

Quadro 44 - Episódio 5: Parte 1.7			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
138	Jonas	já são quase 9 horas / puts grila	
139	Samuel	nu / camarada / tá louco // mas enfim / vamos lá // o que acontece é o seguinte / corrente elétrica variando gera campo magnético / campo magnético variando gera corrente / bota fé (?) ao longo de um ímã / ao longo de uma espira // por que que isso acontece (?) porque na hora que você tem um movimento de uma velocidade v com relação ao seu campo elétrico / se a gente pegar e fazer lei de // lei de ohm não / um bagulho do dedo pô / regra da mão direita (?) vai ver que tem uma diferença no sinal dessa corrente / sua corrente vai apontar pra locais diferentes / e essa diferença na orientação da corrente / essa variação da orientação do sentido da corrente é o que vai produzir a variação do campo magnético / bota fé (?)	

		<p>porque o campo magnético acho que ele tem um bagulho que ele tem que ser sempre perpendicular / não sei se isso tá certo / mas só colocar isso / relação de variação / variou a orientação de um vai ter que variar a orientação do outro / variando a orientação do campo magnético aí você vai tá criando um sistema de campo elétrico magnético / porque o que acontece / enquanto você tiver movimentando vai acender / a hora que parar / esse bagulho vai diminuir o brilho // aí por que que quando você movimenta o ímã é muito mais intenso (?) porque a variação do campo magnético ali não tá gerando nenhum tipo de corrente induzida / corrente induzida que a gente fala é tipo assim / é o trabalho que uma / é uma corrente que ela não existe realmente / é tipo a passagem de um elétron de um ponto pra outro onde não era pra ele tá / sabe (?) tipo / eu não sei explicar isso nesse exemplo em específico // ô mano / tô tentando explicar isso de maneira mais simples possível / mas é porque é difícil pra mim / desculpa mano</p>	
140	Jonas	<p>de boa vei / acho que dá pra montar uma resposta já / tipo assim / vou usar o argumento também da tensão / e tentar montar uma resposta aqui / aí eu mando pra vocês</p>	
141	Natan	<p>na aba transformador agora</p>	
142	Jonas	<p>mano / só falta explicar uma coisa / porque variando o campo magnético existe corrente / só isso</p>	
143	Samuel	<p>porque mudando a orientação do campo magnético você muda a orientação da corrente / é o mesmo bagulho mano</p>	
144	Lucas	<p>porque se você tá mudando a orientação e velocidade você tá tipo / fazendo com que aquilo produza energia e assim vai transformar elétron</p>	
145	Jonas	<p>tá ô / mandei aí no grupo // aliás / vou mandar agora / tá carregando // acho que ficou enorme / mas parece tá certo // é só continuação daquela ali // pera aí / tá // “quando substituímos a lâmpada por um medidor de tensão vemos que quando movemos a espira ou o ímã / o medidor de tensão oscila // não estamos fazendo nada além de produzir uma corrente induzida pela variação de um campo magnético”</p>	<p>Lê a resposta que redigiu para avaliação dos colegas.</p>
146	Samuel	<p>nossa / perfeito</p>	

147	Jonas	“quando variamos a orientação e a velocidade de um campo magnético / variamos a orientação de uma corrente elétrica / portanto / os elétrons começam a fluir dentro da espira”	Lê a resposta que redigiu para avaliação dos colegas.
148	Samuel	não / não / eles sempre tão fluindo dentro da espira / mano	
149	Jonas	sério (?)	
150	Samuel	não / verdade / eles começam a fluir dentro da espira / mas eu fiquei com a impressão de que eles tavam fluindo do lado de fora vei / não sei explicar	
151	Jonas	os elétrons então sofrem uma diferença de potencial	
152	Samuel	isso // sofrem uma diferença de potencial e começa a fluir dentro da espira / excelente	
153	Jonas	então pera aí	
154	Samuel	é só isso que você tem que corrigir / o resto tá perfeito	

Samuel inicia o turno 139 dizendo que corrente elétrica variando gera campo magnético, o que está correto; na verdade, apenas a existência de uma corrente já é suficiente pra produzir um campo magnético. Ele segue dizendo que campo magnético variando gera corrente, e está certo mais uma vez, já que um campo magnético pode gerar um campo elétrico (induzido) capaz de produzir uma corrente no solenoide.

O estudante parece compreender que em um solenoide a corrente induzida nas espiras altera o seu sentido ao longo do tempo. Quando aproximamos o polo de um ímã a uma espira em repouso, observamos o aparecimento de uma corrente nessa espira. Se interrompermos movimento do ímã, a corrente desaparecerá imediatamente. E ao afastarmos o ímã, a corrente tornará a aparecer na espira, porém em sentido contrário ao anterior.

Mas o erro de Samuel é afirmar que a variação no sentido da corrente é responsável pela variação do campo magnético que induz no circuito uma voltagem e, assim, a lâmpada é acesa. Segundo o princípio de Faraday, o que faz variar o campo magnético é a variação do número de linhas de indução que atravessam a bobina. As linhas de campo magnético se espalham a partir do polo norte do ímã. Assim, quando aproximamos o polo norte do ímã a bobina, o número de linhas de indução que atravessam a espira aumenta. Esse aumento faz com que os elétrons de condução se movam, ou seja, produz uma corrente induzida e a lâmpada se acende.

Quando o ímã para de se mover, o número de linhas de indução que atravessam a espira deixa de variar e a corrente induzida desaparece, a lâmpada se apaga.

A partir da discussão, Jonas, que é o redator, propõe uma resposta explicando os fenômenos observados ao seguirem os comandos da questão. Samuel aponta correções a serem feitas, e a resposta final entregue ao professor segue abaixo:

“Sabemos que uma partícula carregada eletricamente e em repouso não interage com um campo magnético estático, portanto, quando posicionamos a espiral em qualquer lugar do espaço e deixarmos tanto a espiral quanto o ímã parados, a lâmpada não acenderá. Quando movemos o ímã ou movemos a espiral, percebemos que a lâmpada acende, ou seja, percebemos que quando variamos a posição do campo magnético, existe uma corrente elétrica que alimenta a lâmpada. Quando substituímos a lâmpada por um medidor de tensão, vemos que, quando movemos a espira ou o ímã, o medidor de tensão oscila. Não estamos fazendo nada além de produzir uma corrente induzida pela variação de um campo magnético: quando variamos a orientação e a velocidade de um campo magnético, variamos a orientação de uma corrente elétrica, portanto, os elétrons começam a sofrer uma diferença de potencial elétrico. Isso faz a lâmpada acender (mais fortemente se variarmos o campo magnético à uma velocidade maior) e o medidor de tensão oscilar.”

O texto escrito apresentado é mais coeso e correto do que os textos orais produzidos pelos integrantes do grupo, sobretudo por Samuel. Isso indica que o redator provavelmente recorreu a outras fontes, talvez o livro-texto, para dar sentido ao que foi discutido e propor uma resposta adequada para a questão conforme a situação analisada no simulador. Esse texto também mostra que a simulação permite que os estudantes sejam capazes de descrever bem o fenômeno da indução eletromagnética, mas não fornece elementos suficientes para que proponham uma explicação totalmente coerente para o fenômeno.

Na primeira frase relatam a observação realizada a partir do comando iii da questão, que é deixar a bobina e ímã parados. Observam que a lâmpada não acende e explicam corretamente o porquê.

Para o comando ii da questão que é mover o ímã próximo à espira, disseram ter observado a lâmpada acender, mas se limitam a relatar o observado sem maiores explicações.

Quando substituem a lâmpada pelo medidor de tensão e repetem a ação de mover o ímã próximo à espira, seguindo o comando iv da questão, observaram que o ponteiro que indica o valor da tensão oscila. Na explicação que apresentam para essa observação, a frase “quando variamos a orientação e a velocidade de um campo magnético, variamos a orientação de uma corrente elétrica, portanto, os elétrons começam a sofrer uma diferença de potencial elétrico” contém alguns erros. Ao mover o ímã não estamos variando a orientação do campo magnético, mas sim o número de linhas de indução que atravessam a bobina. A variação do campo magnético do ímã faz surgir uma corrente induzida no circuito e não varia a orientação de uma corrente. O sentido da corrente induzida é determinado pela lei de Lenz, e é tal que o campo magnético que a corrente criada tende a contrariar a variação do fluxo magnético que a originou. Mas o sentido da corrente não é determinante na explicação do fenômeno observado.

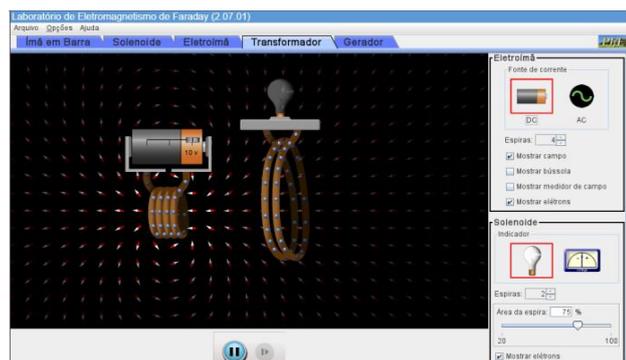
A forma como a questão foi construída, demandando um desdobramento de ações que envolveram familiarização com as abas do simulador, exploração e registro de observáveis e então, construção e observação para os fenômenos observados permitiu que os estudantes avançassem um pouco na Atividade, a desenvolvendo. Apesar disso, a falta de conhecimento da maioria dos integrantes do fenômeno observado impossibilitou a construção de uma resposta totalmente coerente do ponto de vista científico. Além disso, a ênfase dada pelo grupo ao capítulo 24 (“Magnetismo”), não diretamente relacionado aos fenômenos representados na simulação, dificultou o uso do texto como recurso mediacional capaz de equacionar os problemas encontrados no desenrolar da Atividade.

A combinação da simulação com o conteúdo teórico do livro já oferece informações consideráveis para a proposição de uma boa explicação. Uma leitura mais cuidadosa do capítulo 25 teria ajudado o grupo a superar a contradição indicada que surge neste Sistema de Atividade, possibilitando aprendizagens expansivas por parte dos sujeitos. O que demonstra a importância de disponibilizar para os estudantes uma variedade de recursos mediacionais que, combinados, os auxiliem na aprendizagem de física.

PARTE 2

A segunda parte da simulação orientada é uma exploração na aba “transformador” mostrada na Figura 25.

Figura 25: Captura de tela da simulação virtual. Aba transformador.



Fonte: Portal PhET.

Quadro 45 - Episódio 5: Parte 2			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
155	Jonas	vou compartilhar a tela pra próxima experiência então // segunda parte da simulação orientada na aba transformador / deixa eu vir aqui ó / transformador / tá // ah não vei / eu não gosto que deixa a parada / o negócio parado / isso é chato de explicar vei / droga // tá / “mova a espira conectada a lâmpada passando por fora da pilha” / ó / tô movendo aqui gente / ela tá acendendo / tipo assim fraco / mas tá acendendo // beleza / “inverta a tensão na pilha e observe o que acontece com os ímãs em sua volta”	Abre a aba transformador na simulação. Move a bobina conectada à lâmpada em torno da pilha e a lâmpada acende.
156	Samuel	vai inverter o campo magnético	Prevê o que acontecerá.
157	Jonas	hum / inverter a tensão	
158	Natan	em cima do 10 volts na pilha ali ó / tem um negocinho // na pilha mesmo / lá na pilha mesmo	Indica o elemento da simulação que permite inverter a tensão na pilha.
159	Jonas	ah / entendi	Inverte a tensão na pilha e as linhas de campo também invertem.
160	Samuel	ohh / inverteu a orientação do campo magnético	
161	Jonas	é // beleza	
162	Samuel	inverte o potencial ali agora // mexe ali no potencial da pilha / tá em 10 volts / na pilha mesmo / ohh / você diminui a intensidade do campo magnético	Move o botão que ajusta o valor da tensão, diminuindo-a. As linhas de campo ficam mais fracas.

163	Jonas	uhum	
164	Samuel	zero volts não há campo magnético	
165	Jonas	beleza / é / “aproxime a espira e veja o sentido da corrente que passa pela lâmpada” / aqui ó / a lá / ela se inverte ó / a espira dentro da lâmpada ela se inverte / vocês conseguem ver né (?) ó / a lá	Move a bobina conectada à lâmpada, se aproximando e afastando da pilha. No movimento de aproximação, os elétrons se movem em um sentido. No movimento de afastamento, os elétrons se movem no sentido contrário.
166	Lucas	como assim a espira se inverte (?) não tô entendendo	
167	Jonas	o sentido da corrente se inverte ó / é como se fosse uma corrente alternada // os elétrons dentro da espira / tá vendo (?)	
168	Lucas	tô vendo / agora eu tô vendo	
169	Jonas	beleza // “agora afaste a espira e faça a mesma observação”	
170	Natan	inverte / mas pouquinho / tá ligado (?)	
171	Jonas	uhum // por fim / “deixe a espira com a lâmpada imóvel próxima a pilha / e faça alterações rápidas e contínuas na tensão da pilha” // é / é o mesmo	Deixa a pilha parada no interior da bobina conectada à lâmpada e inverte a tensão. O sentido do movimento dos elétrons na bobina inverte quando a tensão é invertida.
172	Samuel	vamos lá / isso aí não é a mesma coisa que o primeiro / calma / por que (?) nesse caso aí você alterar a tensão da pilha você provoca uma alteração na corrente / vamos lembrar $u = ri$ / se a resistência do circuito for a mesma / quando você aumenta ou diminui a tensão / sua corrente vai variar na mesma proporção // mano / aí sua corrente vai variar proporcionalmente / bota fé (?) você variando sua corrente / você vai gerar uma	

		variação no campo magnético / por que (?) que que é o campo elétrico (?) campo elétrico nada mais é // nossa velho / que poético / mas enfim ó / relação campo elétrico corrente / variou corrente / variou campo elétrico / variou campo elétrico / mudou o sentido de orientação da corrente / mudou o sentido de orientação da corrente / mudou o campo magnético // é só isso nas quatro letras / e é só fazer pra cada letra	
173	Jonas	acho que eu consigo montar uma resposta e mando aqui	O grupo fica em silêncio enquanto Jonas redige uma resposta.
174	Jonas	mandei pra vocês / tipo assim / como a gente tá discutindo bastante / não deixa de ler não / vê se vocês concordam mesmo / tá ligado (?)	Manda a resposta redigida no grupo de WhatsApp para avaliação dos colegas.
175	Samuel	velocidade não / intensidade do campo magnético	Questiona um termo utilizado na resposta redigida por Jonas.
176	Jonas	velocidade também / quando a gente move o campo magnético mais rápido a lâmpada acende	
177	Samuel	não / pera aí / olha o que você tá falando / invertendo sua polaridade aumentamos a tensão da pilha / o que aumenta o	
178	Jonas	onde você tá / pera aí / qual (?)	
179	Samuel	aqui ó / no final / “além disso / se alterarmos a tensão da pilha que alimenta o eletroímã / ou invertendo sua polaridade / percebemos que a lâmpada também acende / e isso faz sentido / já que ao alterar o sentido e a velocidade do campo magnético” // não é alterando a velocidade / é alterando a intensidade do campo magnético // e a variação na intensidade que vai fazer tudo / não é a velocidade / a velocidade só importa no caso da espira correndo / bota fé (?)	
180	Jonas	uhum / verdade	

O primeiro comando da segunda parte da questão é mover a bobina conectada à lâmpada passando por fora do eletroímã. Ao realizar o comando, Jonas observa que a lâmpada acende, mesmo que seu brilho seja fraco (turno 155).

Antes de observarem o efeito do segundo comando, que é inverter a tensão na pilha e observar o que acontece com os ímãs em sua volta, Samuel prevê que o campo magnético no interior da bobina do eletroímã irá inverter seu sentido (turno 155), o que os permite observar a inversão dos polos positivo e negativo nos ímãs ao redor da pilha. O campo magnético estacionário que é observado no interior da bobina do eletroímã é originado pela corrente contínua que circula nas espiras. Samuel ainda sugere no turno 62 que alterem o valor da tensão da pilha para que observem que a intensidade do campo magnético é proporcional à intensidade da tensão, diminuindo a tensão o campo magnético fica mais fraco.

Ao aproximar e afastar a bobina conectada a lâmpada do eletroímã, comandos 3 e 4 da questão, os estudantes observam que o sentido da corrente na bobina é invertido (turnos 165 a 170). Essa inversão é explicada pela lei de Lenz, que diz que a corrente induzida em um circuito aparece sempre com um sentido tal que o campo magnético que ela cria tende a contrariar a variação do fluxo magnético que a originou. A lei de Lenz não é abordada no livro Física Conceitual de Paul Hewitt, e essa pode ser a razão de ela não ser citada pelos estudantes ao proporem explicações para os fenômenos observados.

A última observação feita pelo grupo é do efeito de se fazer alterações rápidas e contínuas na tensão da pilha enquanto a bobina acoplada à lâmpada é mantida parada próxima ao eletroímã. No turno 172, Samuel propõe corretamente que uma variação na tensão da pilha provoca uma variação da corrente que percorre a bobina do eletroímã, o que gera uma variação no campo magnético dentro da bobina. Mas ele não chega a conclusão final de que esse campo variável se estende até a bobina ligada à lâmpada, induzindo nela uma voltagem e, portanto, uma corrente que acende a lâmpada.

Jonas redige uma resposta que é avaliada por Samuel entre os turnos 175 e 179, e é mostrada abaixo:

“A primeira observação que podemos fazer é que existe uma pilha que gera uma corrente elétrica que se propaga ao longo de uma espira. Isso gera um campo magnético. Chamamos isso de eletroímã. Podemos aumentar a sua intensidade aumentando-se a corrente que flui pela espira, ou aumentando o número de espiras. Do outro lado, temos uma espira carregada com partículas eletricamente carregadas estáticas. Quando variamos o sentido e a velocidade do campo magnético do

eletroímã, percebemos que a lâmpada acenderá. Além disso, se alterarmos a tensão da pilha que alimenta o eletroímã ou invertemos a sua polaridade, percebemos que a lâmpada também se acende. Isso faz sentido, já que isso irá alterar o sentido e a intensidade do campo magnético e, como discutido na primeira observação, qualquer alteração significativa no campo magnético gera uma corrente elétrica: isso acende a lâmpada.”

É perceptível uma evolução na escrita e no entendimento do fenômeno de indução eletromagnética da resposta da primeira parte da questão para essa da segunda parte. Como na Parte 1, para a produção dessa resposta é provável que Jonas tenha recorrido a outros recursos além da simulação virtual e discussão com os colegas, já que durante a discussão eles não comentam sobre o que é um eletroímã e esse termo aparece na resposta, apontando ainda seu funcionamento. Esses recursos podem ter sido conhecimento prévio, o livro-texto, sites de busca na internet.

A conclusão principal da resposta é que independente do que altera o campo magnético do eletroímã, essa alteração induzirá uma corrente na outra bobina, o que acenderá a lâmpada. Para chegarem a essa conclusão, recorrem às observações e entendimentos construídos na Parte 1. O uso desses conhecimentos construídos previamente em um novo contexto evidencia o avanço na compreensão do fenômeno de indução eletromagnética e o desenvolvimento da Atividade.

PARTE 3

Quadro 46 - Episódio 5: Parte 3.1			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
181	Jonas	então 3 / vou compartilhar a tela // na aba gerador / “utilize essa simulação para explicar o funcionamento das hidrelétricas / não deixe de explicar a importância do controle de abertura e fechamento das comportas / bem como as dificuldades em tempos de seca prolongada ou de grande intensidade de chuva // aproveite o momento para generalizar a explicação para outras formas de obtenção de energia elétrica / tais como usina termoeletrica / usina eólica e alternador veicular dispositivo que carrega a bateria do carro” // gerador a gente já viu né vei	Abre a aba Gerador e abre a torneira, fazendo com que a água gire o ímã e a lâmpada acenda.
182	Lucas	então / olha aqui / o que eu achei na internet / bonitinho / “os geradores de energia elétrica são ímãs que giram muito rapidamente dentro de uma bobina ou	Realiza leitura de informações encontradas no

		bobinas que giram muito rapidamente dentro de um grande ímã / nas usinas hidrelétricas a queda d'água movimenta uma turbina / aí vai depender do tipo de gerador”	sítio: http://fap.if.usp.br/~lumini/f_bativ/f1exper/magnet/gerador_sh.htm
183	Samuel	é exatamente o que o Lucas falou / posso só dar um spoiler (?) quando você deixa a água cair num ímã / o que você tá fazendo é o seguinte / você vai tá alterando / numa turbina / num motor né com ímã / você vai tá alterando o sentido do campo magnético / alterando o sentido do campo magnético você tá produzindo uma corrente em um objeto próximo / fraga (?) essa corrente que você tá produzindo em um objeto próximo variando o campo magnético você pode usar ela pra você produzir um torque / é isso que acontece na usina hidrelétrica / bota fé (?) O torque do motor devido a variação da corrente / tipo assim / você pode pôr até aquele bagulho que a corrente marca metade / o ímã provavelmente já variou completamente sua oscilação de novo / então ela volta pro outro estado / com isso ela vai fazendo torques no motor / saca (?) usando ele pra produzir trabalho / bota fé (?)	
184	Jonas	uhum / ô Lucas / você que montou essa resposta aí ou foi literalmente ctrl c ctrl v (?)	
185	Lucas	ctrl c ctrl v mesmo / é de um relatório de um professor que fez um experimento com isso que a gente tá falando da ifusp / se quiser o link	
186	Samuel	nó mano / o Professor pegou pesado nessa daqui vei	
187	Jonas	ô Samuel / explica mais uma vez o que você acabou de falar	
188	Samuel	mano / quando a água incide em uma turbina / que tem um ímã / o que ela faz é o seguinte / ela vai alterar / ela vai girar a roda / fazendo com o que o ímã toda hora fica oscilando a sua direção de propagação do seu campo magnético / com isso esse ímã faz com que a corrente que / a corrente de objetos próximos a ele também varie o seu sentido / mudando o sentido da corrente / ele pode fazer com que objetos próximos	

		produzam um torque baseado na variação do fluxo de elétrons dentro dele / baseado na corrente / bota fé (?)	
189	Jonas	uhum / tá // e por que é importante (?) ah / dificuldades em tempo de seca dá pra entender / ou de grande intensidade de chuva	
190	Samuel	de grande intensidade de chuva é que vai variar muito né / variando muito pode ser que seu motor não consiga nem trabalhar / bota fé (?) de tanta intensidade / por isso que eles fazem grandes comportas né mano / porque tem que ser tipo assim / tem que ser um fluxo constante / porque o motor é feito pra trabalhar num certo passo / num certo ritmo / bota fé (?) que é o ritmo da oscilação magnética / por exemplo / seu motor é feito pra dar 10 torques por segundo / com isso seu ímã vai ter que oscilar quantas vezes (?) 10 vezes por segundo / sua corrente vai oscilar quantas vezes (?) 10 vezes por segundo // aí beleza / se você tem chuva como é que você vai fazer a água que tá caindo pra você conseguir fazer esse motor ficar trabalhando 10 vezes por segundo (?) vai ter que dar uma guardada // e quando tem muita chuva / sei lá / muita chuva se você deixar deliberadamente você vai ter sei lá / 20 / 30 oscilações por segundo / e não é isso que você quer no seu circuito / que seu circuito se ele oscilar tantas vezes provavelmente esse bagulho não vai sair nem do lugar / de tão pequena que vai ter que ser a oscilação da sua corrente magnética / da corrente elétrica pra ela fazer	
191	Jonas	e por que é importante a parada da comporta (?) tipo assim / ficar abrindo e fechando (?)	
192	Lucas	é tipo / pra controlar isso / pra não variar muito rápido / pra não acontecer nada / tipo / eu acho que sei lá / pensa num tempo de chuva / tipo assim / se aquilo rodar muito rápido / qual que é a lógica né (?) ímãs que vão girar muito rapidamente dentro de uma bobina que tá girando dentro de um ímã // então tipo assim / se isso oscilar numa velocidade legal né / numa	

		velocidade angular legal / dá pra produzir a energia / mas tipo assim / eu penso que sei lá / se você girar isso muito rápido não vai dar tempo do campo oscilar / entendeu (?) ele já vai voltar instantaneamente pro polo em que ele tava / pra direção que ele tava / e não vai conseguir gerar isso	
193	Professor	mas vai sim viu Lucas / vai gerar sim / o problema é que assim / um dos problemas entre aspas / seria o fato de você sobrecarregar a rede né / porque como vocês viram aí / quando abre mais a torneira / o que acontece com a intensidade da energia (?) sobe muito né (?) então um dos problemas na época de seca é que você não tem um volume muito grande de água / entretanto a cidade tá necessitando de muita energia // então por isso / o que que a gente faz pra resolver isso (?) a gente cria grandes represas né / pra poder controlar essa história / com a ideia da comporta né / tá na época de seca / os rios tão baixos / ok / então vamos / como a água tá represada / eu consigo mais ou menos manter um fluxo aí constante / entendeu (?) agora / o mecanismo pra girar sempre a 60 hz / que é a frequência da nossa rede né / nossa rede elétrica / isso é controlado de outra forma / não é com fluxo não / são com freios mecânicos e coisas do tipo / entendeu (?)	
194	Jonas	aaham / beleza // vou respondendo aqui então gente / e mando pra vocês	

Como dito por Jonas no turno 181, o grupo já havia explorado a aba “gerador” (Figura 24) da simulação por uma indicação do professor na Parte 1, e já haviam observado que a água que cai da torneira gira uma turbina, que tem presa a ela um ímã, sendo que o giro do ímã faz com que o brilho da lâmpada aumente e diminua ao longo do tempo.

Como já tinham realizado essas observações, o objetivo do grupo na discussão da terceira parte da questão é proporem uma explicação para o funcionamento das hidrelétricas a partir do fenômeno de indução eletromagnética observado anteriormente. Lucas utiliza sites de busca na internet para encontrar essa explicação, e compartilha com os colegas a informação de que geradores de energia elétrica são

ímãs que giram muito rapidamente dentro de uma bobina ou bobinas que giram muito rapidamente dentro de um grande ímã (turno 182).

Completando a fala de Lucas, Samuel explica os fenômenos observados na simulação e os relaciona com o funcionamento de uma hidrelétrica (turnos 183 e 188). Segundo ele, quando a água cai na turbina fazendo o ímã girar, o campo magnético varia sua direção, e a variação do campo magnético induz uma corrente na bobina próxima. O estudante se confunde ao dizer que nas hidrelétricas a corrente induzida provoca um torque na turbina. De fato, um torque é aplicado nas pás da turbina a fazendo girar, mas esse torque é feito pela força da água que cai nas pás da turbina.

O grupo discute também a importância do controle de abertura e fechamento das comportas, bem como as dificuldades em tempos de seca prolongada ou de grande intensidade de chuva, e as ideias giram em torno da necessidade de manter o fluxo de água que cai na turbina constante (turnos 190 e 192). O Professor esclarece que o controle desse fluxo interfere na intensidade da energia elétrica gerada, mas não na frequência elétrica na rede de transmissão de energia (turno 193).

A partir da discussão, Jonas elabora a seguinte resposta para explicar o funcionamento das hidrelétricas:

“Algumas observações importantes obtidas pela simulação: Quando aumentarmos o fluxo de água que faz a turbina girar, variamos mais rapidamente a posição do campo magnético, e isso faz a lâmpada acender com uma intensidade maior. O fluxo de água que passará pelas pás da turbina exercerá um torque sobre essa turbina, fazendo com que exista trabalho necessário para mover essa turbina. Analogamente às duas primeiras questões, quando mais rápido variarmos esse campo magnético, maior será a intensidade dessa lâmpada. É assim que funciona uma hidrelétrica. Normalmente, grandes hidrelétricas alimentam uma cidade inteira, ou seja, é necessário que sempre haja energia para alimentar essa cidade, mesmo que em períodos prolongados de seca. É por isso que essas hidrelétricas têm uma represa que estoca água. É importante observar também que, o uso de comportas nessas represas é necessário, já que, em períodos com chuva intensa, e supondo que não existisse uma represa nem as comportas, o fluxo de água que giraria a turbina seria enorme, gerando uma sobrecarga nela. Para que essa turbina gere energia é necessário um fluxo constante de água, até onde a turbina conseguir. Isso pode ser generalizado para outras formas de obtenção de energia. De forma resumida, esses

sistemas funcionam a partir de uma indução eletromagnética. Quando isso acontece, existe uma corrente elétrica que gera um campo magnético que varia ao longo do tempo. Isso gera energia que pode ser utilizada de diversas formas por comunidades ou cidades inteiras.”

Como na resposta da segunda questão, Jonas consegue sintetizar o que foi discutido com o grupo de forma coerente, utilizando uma linguagem clara e fácil de ser entendida, mas ao mesmo tempo científica. A explicação dos fenômenos observados na simulação e que acontecem no funcionamento de uma usina hidrelétrica é apresentada corretamente. É interessante notar que mesmo que na Parte 1 do episódio Jonas parecesse não conhecer o fenômeno da indução eletromagnética, ele finaliza a Parte 3 consciente de sistemas que funcionam a partir desse fenômeno.

O roteiro de exploração da simulação e as perguntas do professor levam os estudantes a expandirem o contexto analisado, sendo capazes de aplicar os conhecimentos científicos construídos ao longo da Atividade na explicação do funcionamento de um elemento da vida cotidiana, as usinas hidrelétricas.

Ajustando nossa lente de análise para a constelação de Sistemas de Atividades que engloba as três partes do episódio, percebemos que nas partes 1 e 2 o objeto da Atividade era entender e explicar o fenômeno da indução eletromagnética, enquanto na parte 3 é o entendimento e explicação de geradores e funcionamento de usinas hidrelétricas. A formação desse novo objeto e estabelecimento de um novo padrão da Atividade provoca transformações que resultam em aprendizagem expansiva.

Quadro 47 - Episódio 5: Parte 3.2			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
195	Professor	gostaram dessa questão um (?) é diferente hein / tentei dar uma inovada / fazer uma coisa diferente	
196	Natan	gostei	
197	Jonas	muito boa	
198	Samuel	mais trabalhosa também né / toma bem mais tempo	
199	Professor	toma mais tempo / por isso que eu coloquei só cinco hoje no relatório / e mesmo assim cinco mais rapidinhas	
200	Samuel	não / é / porque / mas sei lá / se tivesse umas duas / três dessa no relatório / e se fosse só assim / acho que seria mais legal	
201	Professor	mais legal / né (?) dá pra explorar mais né (?)	

202	Samuel	é / mas tipo assim / só umas duas / três dela / sabe (?) do jeito dessa um	
203	Professor	entendi / legal	
204	Samuel	acho que duas é o tempo perfeito / porque como elas tão exigindo mais tempo né de você pegar e analisar // três acho que dá / só que ficaria um pouco apertado pra alguns grupos né	
205	Professor	é / tem muito grupo aqui que tá com dificuldade de mexer na simulação / sabe (?) outro grupo tá com dificuldade porque três são só com celulares / então não conseguem interagir / então tem outras probleminhas no meio da jogada também / mas é uma ideia legal sabe (?)	
206	Lucas	é / eu achei também / de verdade	
207	Professor	deu pra aprender alguma coisinha aí com esse negócio (?)	
208	Jonas	deu	
209	Lucas	deu demais	
210	Professor	então bacana	

No final do episódio, o professor pede um retorno dos alunos sobre a proposta de uso da simulação na questão, já que esta foi a primeira vez em que foi utilizada. Samuel considera que é uma questão mais trabalhosa pois demanda mais tempo, mas a considera mais interessante do que as questões apenas teóricas (turnos 198 e 200). Os outros estudantes também sinalizam terem aprovado esse tipo de questão (196, 197 e 206) e consideram que aprenderam com ela (turnos 208 e 209).

Não é o caso desse grupo, mas a fala do Professor no turno 205 evidencia algumas dificuldades enfrentadas no ensino remoto, como a falta de acesso a equipamentos necessários para o uso de determinados recursos educacionais, como as simulações virtuais.

6.3.3.2. Episódio 6

O episódio 6 é a resolução da primeira questão do questionário relativo ao capítulo 29 do livro sobre “Ondas Luminosas”. Esse capítulo aborda os seguintes tópicos: 1) O princípio de Huygens; 2) Difração; 3) Superposição e interferência; 4) Interferência monocromática em películas delgadas; 5) Polarização e 6) Holografia.

Veremos neste episódio que as representações que compõem um simulador virtual podem não ser interpretadas pelos estudantes da maneira correta, levando-os

a entendimento errados e, de certo modo, restringindo a Atividade desenvolvida por eles.

No dia a dia em sala de aula, os recursos mediacionais escolhidos pelos professores para uso nem sempre cumprirão os objetivos para os quais foram pensados. No caso que veremos a seguir, o professor lança mão de um simulador virtual como auxílio na visualização de fenômenos ondulatórios complexos, que são tratados de forma abstrata e estática no livro-texto. Mas seu uso não produz plenamente o resultado esperado, que é o avanço na compreensão dos fenômenos observados.

O enunciado da questão é mostrado na Figura 26.

A duração do episódio é de 1 hora e 40 minutos, e aconteceu em uma aula em que o grupo gastou 2 horas e 20 minutos para responderem todas as questões do questionário.

Figura 26: Primeira questão da aula 23. Questionário relativo ao tema Ondas Luminosas.

1	<p>Assista ao vídeo e responda às 5 questões que lá são apresentadas e a questão 6 aqui exposta.</p> <p>https://youtu.be/cxAQ-vO8MrY</p> <p>Também responda:</p> <p>6 – O que aconteceria se as duas fontes de onda não produzissem ondas com frequência constante?</p> <p>Link da simulação (opcional) https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_pt BR.html</p>
---	--

Fonte: Autores.

A questão 1 do questionário relativo ao tema Ondas Luminosas é uma exploração guiada da simulação virtual “Interferência de Onda” do Portal PhET. Para que os estudantes sem acesso a computadores também pudessem observar os fenômenos e participar ativamente da discussão em seus grupos, o Professor decidiu gravar um vídeo manipulando os elementos disponíveis na simulação ao invés de pedir para que os próprios alunos fizessem tal exploração.

No vídeo, o Professor faz 5 perguntas:

- 1) Por que há formação do padrão de interferência quando se tem duas fontes?
- 2) Por que quanto mais distante estão as fontes, mais franjas brilhantes aparecem na tela?
- 3) Por que a frequência da fonte muda o padrão de interferência na tela?
- 4) Por que a alteração da amplitude provoca uma mudança na tela?

- 5) O que acontece com o padrão de interferência na tela quando a largura das fendas diminui?

Além das perguntas feitas no vídeo, há uma sexta mostrada no enunciado da Figura 26:

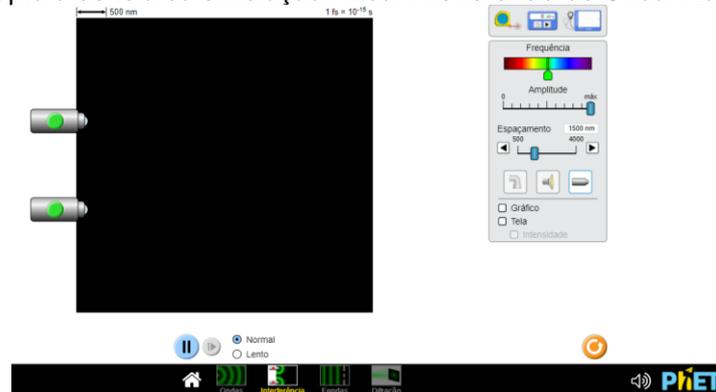
- 6) O que aconteceria se as duas fontes de onda não produzissem ondas com frequência constante?

O episódio tem início após Jonas ler o enunciado da questão e compartilhar sua tela com os colegas. A análise será dividida em seis partes em que são discutidas as seis perguntas propostas na questão.

Parte 1

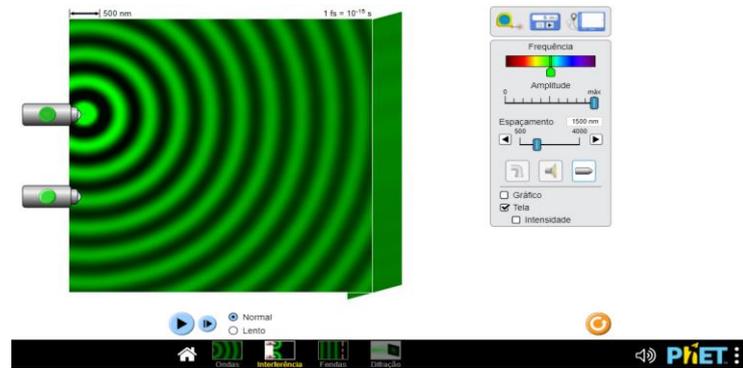
Os estudantes iniciam o vídeo e nele o Professor mostra que é possível realizar na simulação um experimento de produção de ondas luminosas a partir de duas fontes, como mostrado na Figura 27. O Professor chama atenção para o brilho na tela colocada a uma certa distância das fontes, que é aproximadamente constante quando só uma fonte está ligada (Figura 28), e forma um padrão de interferência quando as duas fontes estão ligadas (Figura 29). A primeira pergunta feita pelo professor é por que há a formação do padrão de interferência quando se tem duas fontes. O diálogo dos estudantes se inicia a seguir.

Figura 27: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência.



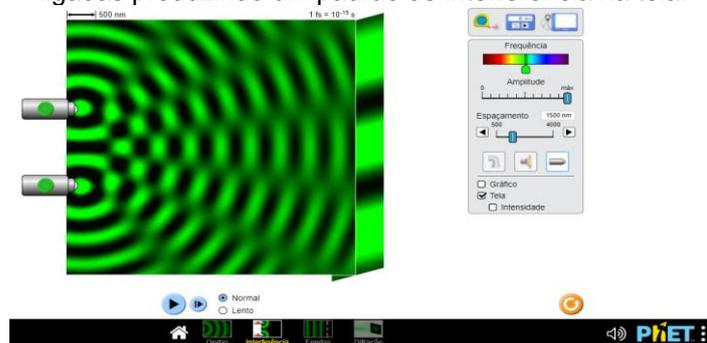
Fonte: Portal PhET.

Figura 28: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Uma fonte ligada produzindo um brilho contínuo na tela.



Fonte: Portal PhET.

Figura 29: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes ligadas produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Quadro 48- Episódio 6: Parte 1

Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Samuel	pausa / já vamos registrar // essa formação aí se dá pela diferença de fase que tá acontecendo entre as ondas / que que acontece / o que é diferença de fase (?) diferença de fase é quando as ondas não estão sendo emitidas ao mesmo tempo porque elas tem uma diferença de crista e de vale / com isso / elas vão sofrer uma interferência que pode ser negativa ou construtiva alterando assim a onda que vai ser formada / bota fé (?) Se alguém puder registrar isso aí	
2	Jonas	uhum / eu coloco // a pergunta dele foi o que mesmo (?)	
3	Lucas	por que ocorre a interferência (?)	
4	Samuel	o que explica esse padrão de formação	
5	Jonas	aí eu coloquei que acontece uma interferência por conta da diferença de fase das duas ondas emitidas / essa diferença pode ser construtiva ou destrutiva	
6	Samuel	exatamente // e é o que vai fazer com que essas ondas formem esse padrão aí	

7	Jonas	tá // deixa eu mandar / vê se tá bom / ficou muito curto / mas	
8	Natan	acho que é curto mesmo	
9	Lucas	na verdade / não tem uma palavra específica (?) não é alguma coisa interferência (?) só isso que eu penso	
10	Samuel	não / é interferência construtiva ou destrutiva // talvez você esteja pensando nisso né	
11	Lucas	não sei / pode ser // ah / superposição é a palavra que eu tava pensando	Lê a palavra superposição no texto do livro.
12	Samuel	isso / é / formado por causa da superposição de ondas / que que acontece / ô Jonas / acho que você pode completar dizendo o seguinte / que essas ondas sofrem esse processo de interferência quando elas se chocam / quando elas se chocam como elas estão numa diferença de fase / elas vão se sobrepor / como o Lucas falou ali // é o princípio de superposição de ondas / alterando assim a forma da onda né	
13	Jonas	então aqui ó / quando duas ondas / quando duas ou mais ondas são emitidas em uma diferença de fase e interagem entre si / ocorre a sobreposição / que são as energias dessas ondas (?)	Fala em voz alta o que está redigindo.
14	Samuel	não / sobreposição das duas ondas né // alterando assim / a forma da onda formada	
15	Jonas	aqui ó / o que acontece é uma interferência por conta da diferença de fases das duas ondas emitidas // quando duas ou mais ondas são emitidas em uma diferença de fase e interagem entre si / ocorre a sobreposição de todas essas ondas // essas interferências podem ser construtivas ou destrutivas e isso gera um padrão de interferência	Lê a resposta redigida para avaliação do grupo.
16	Samuel	melhor resposta possível // aperta o play	

Nesta parte do episódio, o grupo constrói uma resposta para a primeira pergunta direcionado pelas ideias de Samuel. A experiência prévia do estudante com o conteúdo de ondas faz com que ele se sobressaia ao longo de toda a discussão da questão, como veremos adiante. É uma discussão marcada pela falta de questionamentos e ideias dos outros integrantes, que ainda não possuem os aportes teóricos necessários para debater com as proposições trazidas por Samuel. Isso faz com que neste episódio, ele exerça um papel de liderança na divisão do trabalho do

grupo, e os outros integrantes papéis passivos de escuta e aceitação das ideias do colega.

Samuel propõe que o padrão de interferência observado na tela é causado pela diferença de fase das ondas produzidas pela fonte (turno 1). De fato, quando as duas ondas se superpõem, há pontos em que a diferença de fase por meio comprimento de onda resulta em interferência destrutiva e é formada uma franja escura na tela. As franjas escuras se formam quando a crista de uma onda se superpõe simultaneamente ao vale da outra onda luminosa. Mas há momentos em que as ondas se encontram em fase e há uma interferência construtiva formando uma franja brilhante. As franjas brilhantes se formam quando a crista de uma onda luminosa se superpõe simultaneamente, na tela, à crista da outra onda luminosa. O padrão de interferência observado na tela surge devido à diferença de caminho entre a luz que chega das duas fontes, gerando interferências construtivas e destrutivas.

A fala de Samuel no turno 1 leva Jonas a concluir erroneamente que a interferência acontece devido a uma diferença de fase das duas ondas geradas (turno 5). A interferência na verdade acontece devido a superposição das duas ondas. Ele também comete um erro ao dizer que a diferença de fase pode ser construtiva ou destrutiva, já que construtiva e destrutiva são tipos de interferência e não tipos de diferença de fase.

Quando Lucas questiona se o termo correto é interferência ou se falta alguma palavra para completar esse termo, ele provoca por alguns instantes um ponto de tensão, que é atenuado rapidamente ao concluir que estava pensando na palavra superposição (turno 11). Mas é esse ponto de tensão que parece fazer Samuel se dar conta de que na verdade o que gera o padrão visto na tela é a superposição das ondas que causa a interferência. Apesar disso, ele atribui erroneamente a superposição das ondas ao fato de existir uma diferença de fase entre elas (turno 12).

Jonas redige a resposta que ele lê no turno 15 e é apresentada abaixo:

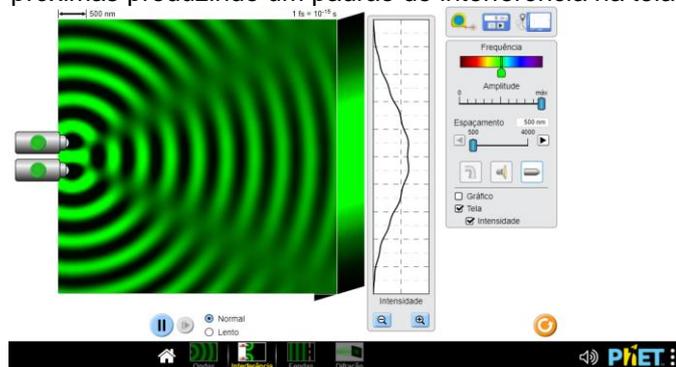
“O que acontece é uma interferência por conta da diferença de fases das duas ondas emitidas. Quando duas ou mais ondas são emitidas em uma diferença de fase e interagem entre si, ocorre a sobreposição de todas essas ondas. Essas interferências podem ser construtivas ou destrutivas e isso gera um padrão de interferência, como visto no vídeo.”

Na resposta, Jonas reproduz a ideia errada de que a interferência de ondas acontece devido a uma diferença de fase entre elas e não devido ao princípio de superposição.

Parte 2

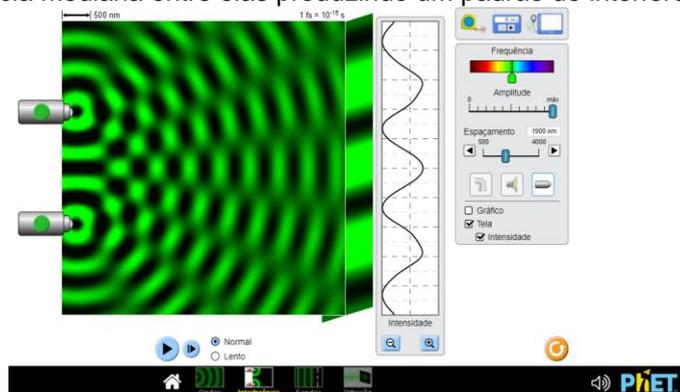
Seguindo o vídeo, o Professor mostra que a simulação permite alterar o espaçamento entre as fontes, e que o padrão de interferência na tela se altera quando as fontes são colocadas perto (Figura 30), em uma distância mediana (Figura 31) e longe (Figura 32). A pergunta do Professor é então: por que quanto mais distante estão as fontes, mais franjas brilhantes aparecem na tela?

Figura 30: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes próximas produzindo um padrão de interferência na tela.



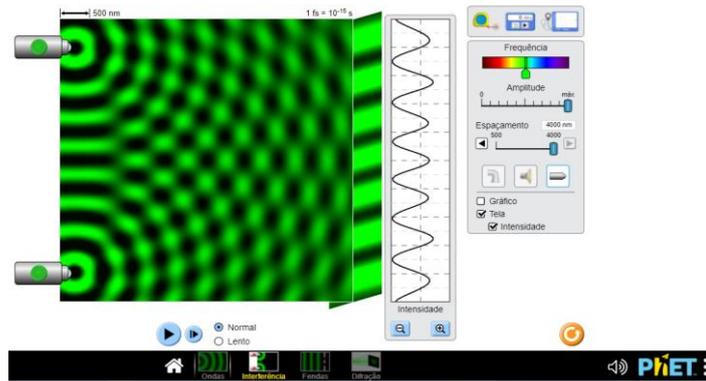
Fonte: Portal PhET.

Figura 31: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes com distância mediana entre elas produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Figura 32: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes afastadas produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Quadro 49 - Episódio 6: Parte 2			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
17	Lucas	bom / isso tá relacionado com comprimento de onda né / tipo assim / aqui ó / “se as ondas estão fora de fase por exatamente meio comprimento de onda / sua posição resulta em cancelamento total / se elas tiverem fora de fase numa situação intermediária ocorre o cancelamento parcial” / então tipo / eu acho que se tá com uma grande diferença de comprimento de onda vai dar uma grande interferência / mas eu posso tá errado também	Lê um trecho do livro da seção 29.3: Superposição e interferência.
18	Samuel	exatamente isso // na verdade / não é diferença do comprimento de onda / porque tipo assim / vamos colocar que aqueles dois bagulhinhos emite duas ondas com comprimento de onda padrão nos dois casos / o que aumentou ali foi o comprimento de onda da onda formada / bota fé (?) por que o que acontece / na hora que esses caras tão juntos / você tem um comprimento de onda ali e quando essas ondas tão perto elas podem se formar juntas / fraga (?) na hora que você tá com elas mais afastadas / vai ter mais interferência / porque vai ter mais ondas chocando / só a gente pensar no princípio de Huygens / cada nova onda ali / cada onda que bate ali / ela vai formar / vai ser como se ela fosse uma nova fonte / cada nova fonte vai gerar uma nova onda / que vai acabar batendo nela / aumentando assim o processo de interferência / bota fé (?)	
19	Jonas	entendi / pô / mais ou menos // vou tentar escrever o que eu entendi / aí vocês veem se tá certo	
20	Lucas	Samuel / repete o que você falou enquanto o Jonas vai escrevendo / só pra eu ver se eu entendi	

21	Samuel	<p>tipo assim / o que você falou foi o seguinte / por causa do comprimento de onda / certo (?) só que esse comprimento de onda que você tá falando ele não depende do comprimento da primeira onda que esse cara e esse cara aqui embaixo formou / bota fé (?) Depende da distância entre eles / porque o que importa é o comprimento da onda formada / porque a partir do momento que eu formo uma onda e essa onda vai se chocar ela vai se comportar como uma fonte pontual / princípio de Huygens / com isso ela vai gerar uma nova onda / essa nova frente de onda vai se propagar como um novo emissor de ondas que vai chocar com outra / aumentando assim o processo de interferência / é por isso que na hora que você aumenta ou diminui você tem maior ou menor interferência / por causa da diferença de fase que vai tá sendo provocada entre essas ondas / bota fé (?) e o que a gente registra ali na tela é o pico ou o vale dessas ondas / ali onde a gente registra exatamente o vale / onde tá aquela parte preta ali no detector é onde é o vale / concordam (?) bate ali o olho / preto vale / por que (?) por que ali a interferência entre essas duas ondas formadas foi completamente destrutiva / na hora que eu reduzo / volta lá a experiência pra gente ver por favor // ali olha / na hora que a distância entre esses caras é menor / eu tô reduzindo o meu negócio / por que (?) porque aqui tá tendo menos / não é que tenha menos interferência de onda / não é que a intensidade da interferência esteja variando / é que eu tô formando menos ondas na hora que elas se chocam / fraga (?) Porque ali elas estão mais próximas / como se o emissor fosse quase um emissor sozinho / fraga (?) se a gente conseguir sobrepor esses dois emissores pra eles ocuparem o mesmo local no espaço / ou muito próximo disso / a gente vai ver que essa interferência vai ser mínima / como se a gente tivesse só um emissor / fraga (?)</p>	<p>Quando diz “esse cara” ele se refere à fonte de cima que aparece na simulação e “esse cara aqui embaixo” à fonte de baixo (Figura 32).</p> <p>Ao voltarem o vídeo para o momento registrado na Figura 31, o número de franjas brilhantes e escuras diminui em relação à quando as fontes estavam mais distantes (Figura 32). É ao número de franjas que o estudante se refere na sua frase: “eu tô reduzindo o meu negócio”.</p>
22	Jonas	uhum / entendi	
23	Lucas	botei fé	

24	Jonas	já mando pra vocês (4 min) vê se vocês concordam / “a resposta está na distância entre as fontes emissoras / percebemos que quanto maior a distância das fontes emissoras mais cristas e vales serão gerados no detector da parede / a recíproca também é verdadeira / quanto mais próximos estiverem as fontes menos cristas e vales serão formados ao final / como se / se aproximarmos suficientemente as fontes / uma só fonte estivesse gerando essas ondas // quando elas são afastadas / no entanto / a interferência será maior pois mais ondas se chocam por conta da diferença de fase com que são emitidas // por causa disso / geramos uma onda com um padrão que apresenta um curto comprimento de onda e uma frequência maior” // beleza (?)	Lê a resposta redigida para avaliação dos colegas.
25	Samuel	parabéns // faltou falar do princípio de Huygens que vai fazer com que cada local onde é um choque de onda faz com que se comporte como um novo emissor de onda aumentando assim / contribuindo assim pra aumentar o padrão de interferência	
26	Jonas	você consegue escrever isso (?)	
27	Samuel	não	Tom de brincadeira.
28	Jonas	como que é (?) padrão de que (?)	
29	Samuel	tô zoando Jonas / consigo escrever	
30	Lucas	é só você adicionar ali depois de “quando elas são afastadas a interferência será maior” / tipo assim / devido ao princípio de Huygens / que vai fazer que elas criem ondas secundárias que dali se espalha e diverge com o mesmo valor	
31	Jonas	tá / pera aí // aí ó / completei com o que o Lucas falou	

Lucas se envolve um pouco mais na discussão, sugerindo que a explicação para o fato de a distância entre as fontes mudar o padrão de interferência formado na tela é a diferença entre o comprimento de onda das duas ondas emitidas pelas fontes (turno 17). Esta consideração não é correta já que as duas fontes emitem luz de mesma frequência e, portanto, mesmo comprimento de onda.

No turno 18, Samuel reconhece o equívoco do colega e propõe corretamente que quanto mais afastadas entre si as fontes estiverem, maior será a área onde as ondas se superpõem e maior o número de regiões de interferência construtiva e

destrutiva. Ele justifica sua ideia com o princípio de Huygens, que diz que cada ponto de uma frente de onda qualquer pode ser considerado como uma fonte de pequenas ondas secundárias, que dali se espalham divergindo em todas as direções com um mesmo valor de velocidade de propagação. Mas o princípio de Huygens também se aplica às situações em que as fontes estão próximas. Quando as fontes são afastadas não é o número de frentes de onda que aumenta, mas os pontos de superposição e, conseqüentemente, de interferência. Veremos que no decorrer do episódio que Samuel evoca este princípio várias vezes, tentando aplicá-lo mesmo quando a situação não favorece seu uso e significação em contexto. Uma hipótese que pode ter levado o estudante a insistir neste princípio é o destaque que ele tem no capítulo de referência do livro-texto, o que pode ter transmitido para o estudante uma ideia de importância e credibilidade.

Jonas, que é o redator, aceita as explicações de Samuel sem questionamentos e produz uma resposta a partir disso. Ele a lê para os colegas a avaliarem no turno 24. Ele inicia a resposta descrevendo o que foi observado e conclui dizendo que quando as fontes são afastadas há maior interferência, pois, mais ondas “se chocam” devido a diferença de fase com que são emitidas. Mas para Samuel, há maior interferência, pois, em cada ponto onde as ondas “se chocam” há uma nova formação de frente de onda (turno 25). Depois de acatar as alterações sugeridas pelos colegas, a resposta final que foi redigida se encontra abaixo:

“A resposta está na distância entre as fontes emissoras. Percebemos que, quanto maior a distância das fontes emissoras, mais cristas e vales serão gerados no detector da parede. A recíproca também é verdadeira: Quanto mais próximos estiverem as fontes, menos cristas e vales serão formados ao final, como se, se aproximarmos suficientemente as fontes, uma só fonte estivesse gerando essas ondas. Quanto elas são afastadas, no entanto, a interferência será maior: Cada ponto de uma frente de onda qualquer pode ser considerado como uma fonte de pequenas ondas secundárias, que dali se espalham divergindo em todas as direções com um mesmo valor de velocidade de propagação. Por causa disso, geramos uma onda com um padrão que apresenta um curto comprimento de onda e uma frequência maior.”

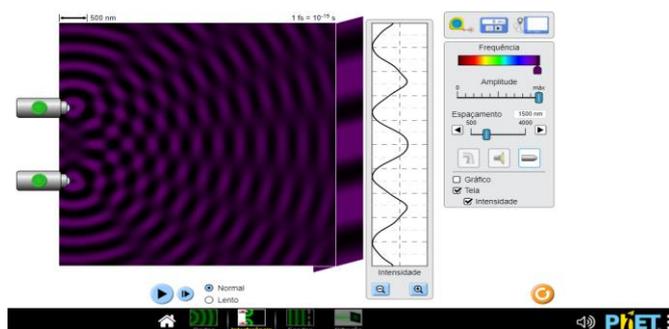
Na correção desse questionário, o Professor considerou que o grupo não respondeu à questão 2 proposta no vídeo e apenas descreveram o fenômeno. Além disso, mesmo que o Professor considerasse parte da resposta como uma explicação

para a mudança no padrão de interferência devido ao afastamento das fontes, essa explicação estaria incorreta. Percebemos na resposta escrita as mesmas ambiguidades e imprecisão no uso de conceitos que aparecem durante a discussão do grupo. Eles revelam dificuldades na apropriação e uso de conceitos básicos do modelo ondulatório e da compreensão do princípio de superposição de ondas.

Parte 3

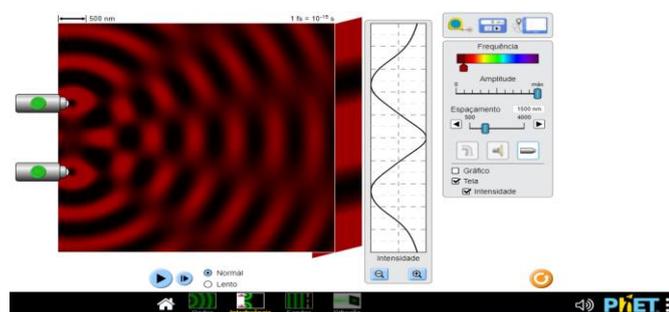
A próxima mudança que o Professor mostra na simulação é a frequência das ondas luminosas. Ele altera a cor da luz para o violeta e pede que os estudantes observem o padrão de interferência formado na tela (Figura 33). Depois altera a cor da luz para o vermelho e outro padrão de interferência é formado (Figura 34). Sua terceira pergunta é então por que a frequência das ondas luminosas muda o padrão de interferência na tela.

Figura 33: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes de luz violeta produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Figura 34: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes de luz vermelha produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Quadro 50 - Episódio 6: Parte 3			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários

32	Samuel	v é igual a λf / e a cor tá diretamente relacionada a frequência / cores com maiores frequências tendem a ser cores mais próximas do espectro do violeta // com isso / na hora que você tá aumentando a frequência / vamos colocar que essas ondas são ondas que tão se propagando num meio / todas elas propagam no mesmo meio / na hora que você aumenta a frequência / você diminui o comprimento de onda / isso aí vai ter relação com o tamanho da crista formada né / com o comprimento de onda vai ser a diferença do tamanho dessas / a diferença de caminho entre essas cristas // nota que o seguinte / com frequências mais baixas / você aumenta o comprimento de onda e é por isso que nessa do vermelho aí que é o menor espectro de radiação que a gente pode obter / a gente vai ver só uma crista // no violeta a gente vai ver 3 / quase 5 cristas bem definidas / porque como a gente diminuiu o comprimento de onda / a gente aumentou muito a frequência / saca (?)	Cita a equação que fornece a velocidade de propagação de uma onda: $v = \lambda f$, onde λ é o comprimento de onda da onda e f a frequência.
33	Jonas	tá / deixa eu começar a escrever aqui	
34	Lucas	dá pra você justificar sua resposta se a gente tirar um print e cortar aqui mostrando que a amplitude vai ser a mais alta e a mais baixa e coisa / e mostrando o resultado pra complementar sua resposta / se quiser posso fazer enquanto você escreve	
35	Jonas	eu quero se você puder fazer	
36	Natan	você não quer fazer no site pra ficar mais bonitinho (?)	Sugere que capturem a tela da própria simulação ao invés de capturar frames do vídeo.
37	Lucas	pode	
38	Jonas	Lucas / tem como você printar com as ondinhas (?)	Se refere a selecionar a opção de mostrar o gráfico que mostra a intensidade do brilho na tela.
39	Lucas	ah / eu esqueci de pôr a frequência / verdade // as ondinhas (?) o que você ia falar (?)	

40	Jonas	igual tá no vídeo // qualquer coisa eu posso fazer também	
41	Lucas	você fala com o gráfico ou só mostrando a frequência (?)	
42	Jonas	os dois / a parada roxa e o gráfico do lado dele // igual no vídeo	
43	Lucas	é que o professor conseguiu colocar esse gráfico na vertical e eu não tô conseguindo / ele tá no meio do bagulho	Seleciona a opção “Gráfico” ao invés de “Intensidade”.
44	Natan	clica em intensidade ali ó // embaixo da tela / intensidade	Indica a opção certa que deve ser selecionada para que apareça o gráfico que mostra a intensidade do brilho na tela.
45	Lucas	tá / beleza / consegui	
46	Jonas	tá / expliquei o que a gente observa / mas a explicação era o que mesmo (?) a explicação do porque a gente aumenta a frequência e gera ondas	
47	Samuel	se a gente considerar que esses caras tão num mesmo meio / todo o experimento tá acontecendo no mesmo meio / a gente pode supor que a velocidade da luz / da onda aí / ela sendo uma onda eletromagnética / ela vai ser constante // se ela vai ser constante a gente sabe que v é igual a λf / se a velocidade é constante aumentar ou diminuir a frequência / a gente sabe que a cor tá relacionada a frequência / quando você aumenta cores pra tendência do ultravioleta a gente vai ter cores mais intensas / ou seja / cores mais intensas têm maior frequência / maior frequência implica em menor comprimento de onda / comprimento de onda é a distância entre duas cristas ou uma crista e um vale / certo (?) ou seja / quando a gente diminui o comprimento de onda / aumenta a frequência / diminui o comprimento de onda / então a gente vai ver mais padrão de formação de cristas aqui / olha / na tela de observação / e quando você coloca cores com menor frequência / como por exemplo vermelho / que tá na borda do espectro eletromagnético pra cores infravermelhos / com a frequência mais baixa / você vê que	Quando diz “tela de observação” se refere ao o gráfico que mostra a intensidade do brilho na tela.

		a gente vê uma formação de uma grande onda / porque um pico de uma onda só / porque o comprimento de onda dele tá muito grande / fraga (?) porque a frequência é menor	
48	Jonas	então / mas por que isso acontece (?)	
49	Samuel	uai / porque é uma equação matemática	
50	Jonas	não / mas você falou que ah / se a gente aumentar a frequência a gente diminui o comprimento de onda	
51	Samuel	então / mas porque a velocidade é constante no meio / fraga (?)	
52	Jonas	sim / mas por que duas ondas se chocando com uma frequência maior vão gerar um padrão de interferência com uma frequência maior também (?)	
53	Samuel	ai é por causa de princípio de Huygens / porque cada nova fonte / cada frente de onda se comporta como um novo emissor de ondas / então na hora que você tem mais choque com mais ondas / com menor comprimento de onda / você vai ter mais pontos gerando / e mais pontos vão gerar mais ondas que vão se chocar / aumentando assim o período de interferência / bota fé (?)	
54	Jonas	ah / beleza / então é isso // tranquilo // deixa eu colocar	

No turno 32, Samuel explica a diferença entre uma luz violeta e uma luz vermelha. A luz violeta é uma onda luminosa de alta frequência e pequeno comprimento de onda, já que a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda. A luz vermelha é uma onda luminosa de baixa frequência e, portanto, comprimento de onda maior. O gráfico de intensidade do brilho na tela parece ter sido entendido pelo aluno como uma onda que possui vales e cristas. Para ele, se a cor violeta tem alta frequência, a superposição de duas ondas de cor violeta produz uma onda com três cristas. E se a cor vermelha tem baixa frequência, a superposição de duas ondas de cor vermelha produz uma onda com apenas uma crista. No entanto, com base no modelo ondulatório, o que os picos no gráfico de

intensidade do brilho na tela mostram é que ali aconteceu uma interferência construtiva.

Era esperado que os estudantes observassem que, ao trocar as fontes de luz violeta pelas fontes de luz vermelha, a distância entre as franjas do padrão de interferência aumenta. Isso acontece porque o padrão de interferência surge devido à diferença de caminho entre a luz que chega das duas fontes. Como a luz vermelha tem um comprimento de onda maior do que a luz violeta, a diferença de caminho entre as ondas aumenta, então as franjas se distanciam e menos franjas brilhantes aparecem na tela.

As falas de Lucas e Jonas nos turnos 38, 41 e 42 também nos levam a entender que eles tiveram a mesma interpretação errada que Samuel teve em relação ao gráfico que mostra a intensidade do brilho na tela. Essa interpretação parece ter impedido que os estudantes chegassem a uma explicação correta. Esse é um caso em que o recurso mediacional cria constrangimentos ao desenvolvimento pleno da Atividade. Neste caso, isso ocorre, pois, características desse recurso são apropriadas pelos estudantes de um modo não canônico, gerando uma interpretação inadequada do fenômeno.

A ideia predominante no grupo é que a superposição de duas ondas de alta frequência gera um padrão de interferência de alta frequência, mesmo que não faça sentido falar em padrão de interferência de alta frequência. Jonas manifesta ter dificuldade em explicar essa ideia (turno 52). Uma vez mais, Samuel utiliza o princípio de Huygens para justificar um maior número de pontos de interferência (turno 53), mesmo sendo esse princípio desnecessário e inadequado para a explicação.

A resposta que foi entregue ao professor é mostrada a seguir:

“A simulação mostra que quando trocamos as cores das luzes que são emitidas pelas duas fontes separadas à mesma distância, percebemos que geramos um padrão de interferência diferente.

Comparando as duas ondas geradas no detector percebemos que, quanto maior a frequência das duas ondas geradas, como no caso da luz violeta, geramos um padrão de interferência com um curto comprimento de onda e uma alta frequência. Analogamente, se emitidas luzes com frequências mais baixas, como o vermelho, os padrões gerados também irão se comportar dessa forma, com uma baixa frequência e um grande comprimento de onda. O Princípio de Huygens nos diz que cada ponto

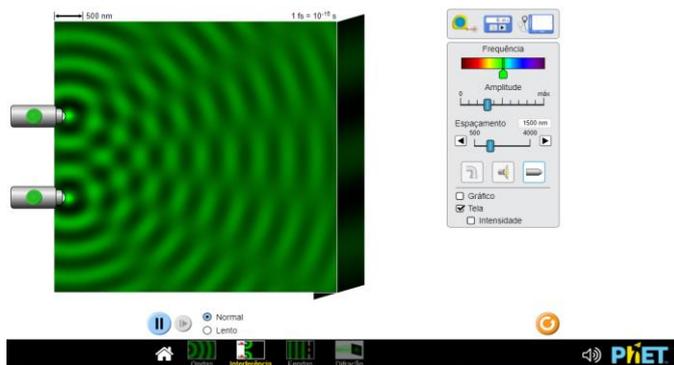
em uma frente de onda se comporta como uma nova fonte, produzindo ondas que se propagam sempre com a mesma frequência. Quando aumentamos a frequência das ondas emitidas por duas fontes, mais fontes de comprimento de onda menor irão interagir entre si. Por conta disso, geramos mais cristas e mais vales no detector da parede, com um curto comprimento de onda. Isso acontece pois mais pontos dessas ondas se chocam em um curto período de tempo, em uma frequência maior. Cada choque fora de fase gera um padrão de interferência. Quando o caso é o contrário, com fontes de baixa frequência e grande comprimentos de onda, menos pontos dessas ondas irão se interagir com uma frequência menor. Temos como resultado no detector um padrão de interferência com um grande comprimento de onda e uma frequência menor.”

A frase: “comparando as duas ondas geradas no detector” confirma que os estudantes entenderam o gráfico de intensidade do brilho na tela como a representação de uma onda. Essa interpretação equivocada os leva a alguns entendimentos errados. Parte do texto escrito está correto, e a explicação para o que acontece quando aumentamos ou diminuimos a frequência das ondas emitidas está coerente, só que não depende em nada do Princípio de Huygens. O Professor parece concordar com essa avaliação ao comentar na correção do questionário que nessa resposta “alguns detalhes precisam ser corrigidos.”

Parte 4

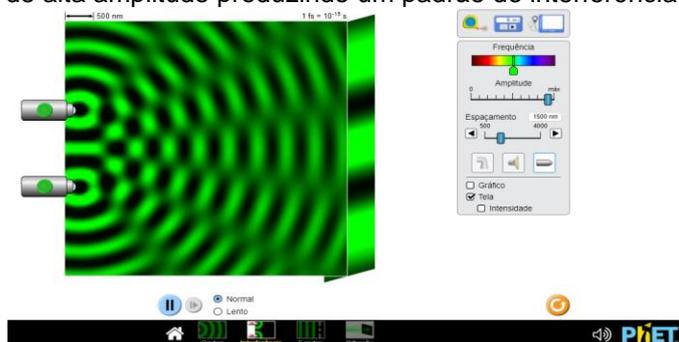
A próxima alteração que o Professor realiza na exploração do experimento é na amplitude das ondas emitidas pelas fontes. Ele mostra que selecionando a opção de amplitude igual a zero nenhuma onda é gerada. Com uma amplitude pequena, as franjas luminosas do padrão de interferência apresentam brilho baixo (Figura 35), enquanto que com uma amplitude maior, o brilho é alto (Figura 36). A quarta pergunta feita pelo professor é: por que a alteração da amplitude provoca uma mudança na intensidade do brilho das franjas luminosas na tela?

Figura 35: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes de luz de baixa amplitude produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Figura 36: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba interferência. Duas fontes de luz de alta amplitude produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Quadro 51- Episódio 6: Parte 4

Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
55	Samuel	a gente já respondeu já / que a amplitude tá diretamente relacionada a energia implicada na onda / ondas com maiores amplitudes vão tender a ter mais energia / e isso justifica a alteração do brilho	
56	Jonas	pera aí / qual foi a pergunta exata dele (?)	
57	Samuel	a diferença de brilho quando você aumenta ou diminui a amplitude	
58	Jonas	tá / beleza / é isso que você falou mesmo // vamos lá	
59	Lucas	tem outra coisa em relação a isso	
60	Jonas	o que (?)	
61	Lucas	é isso que ele falou / mas não era tipo / negócio de difração / mas não tem nada a ver não	
62	Samuel	não / nesse caso não / acho que difração tem a ver com se passasse pelo tamanho da fenda	
63	Lucas	isso // foi viagem minha	
64	Jonas	tô quase terminando aqui / gente	
65	Jonas	essa 4 eu expliquei assim	Envia a resposta redigida para os

			outros integrantes do grupo.
66	Lucas	vamos ver // tá legal / se precisasse completar seria como relacionar a energia da fonte com a interferência e brilho maior / mas ainda falta nessa comparação onde fica a amplitude e a intensidade / a intensidade quer dizer já falou / pra mim já foi intuitivo	
67	Jonas	você quer que completa (?)	
68	Lucas	não / não / tá de boa	

No turno 55, Samuel propõe que a amplitude de uma onda está relacionada à energia. E que quanto maior a amplitude, maior a energia que a onda transporta, o que aumenta o brilho na tela. Os colegas concordam com sua proposição sem discussão sobre seu conteúdo. Lucas chega a pensar no conceito de difração, mas logo conclui que não está relacionado (turnos 61 e 63).

Jonas apresenta a seguinte resposta para ser entregue ao Professor:

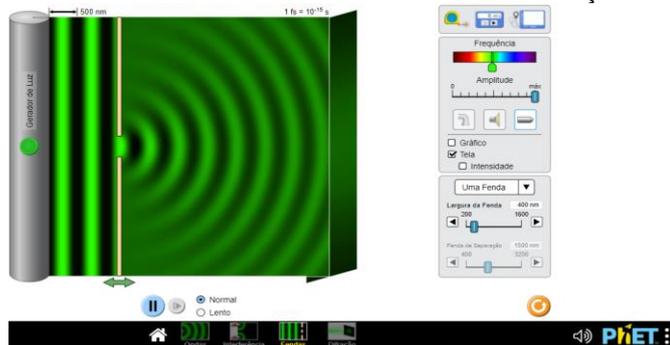
“A amplitude de uma onda descreve a quantidade de energia em que a fonte emite aquela onda. Pensando em uma lâmpada, que constantemente emite uma radiação eletromagnética, podemos fazer uma observação: Se tivermos um detector que desenha os padrões de onda emitidos pela lâmpada e aumentarmos a intensidade da luz que por ela é emitida, observamos no detector uma onda com uma amplitude maior do que era visto antes. Então, a amplitude de uma onda está diretamente relacionada com a intensidade dela. No exemplo da simulação, o professor aumenta a amplitude da onda e gera um brilho maior na parede. Mais energia será emitida pela fonte, e portanto, quando os padrões de interferência ocorrerem, ocorrem com uma intensidade maior; um brilho maior será visto na parede.”

Ao analisar a resposta de Jonas podemos inferir que o estudante compreende bem a definição de ondas como perturbações que são capazes de transportar energia, sendo que a amplitude de uma onda está intimamente relacionada à energia que a onda propaga. O estudante também demonstra entender a amplitude como uma medida da intensidade, e no caso da luz a intensidade implica em brilho. Assim, ele conclui corretamente que se as ondas emitidas pelas fontes possuem alta amplitude, elas transportam mais energia, e no padrão de interferência gerado pela superposição das ondas as franjas brilhantes terão alta intensidade.

Parte 5

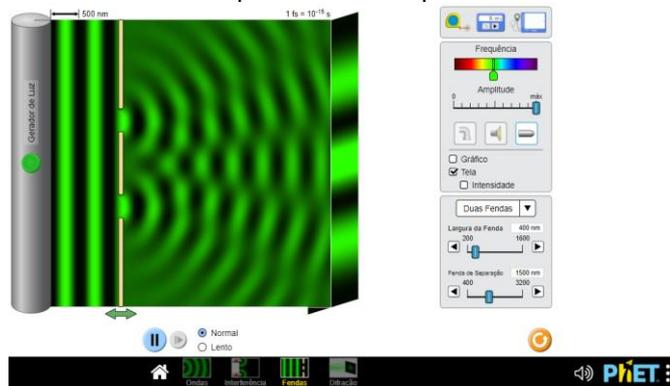
Na aba “Fendas” da simulação, o Professor mostra que ondas planas ao atravessarem uma pequena abertura fazem uma curva nas bordas da abertura (Figura 37), fenômeno chamado de difração. A simulação permite que sejam colocadas duas fendas (Figura 38) e que a largura das fendas seja alterada. O Professor propõe uma quinta pergunta: o que acontece com o padrão de interferência na tela quando a largura das duas fendas diminui e por quê?

Figura 37: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba fendas. Ondas planas atravessando uma fenda. Fenômeno de difração.



Fonte: Portal PhET.

Figura 38: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba fendas. Ondas planas atravessando duas fendas e produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Quadro 52 - Episódio 6: Parte 5			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
69	Lucas	beleza / vamos fazer aqui	Propõe que reproduzam na simulação a situação da pergunta.
70	Samuel	mano / o que acontece	
71	Lucas	querem fazer aqui (?) eu compartilho a tela e faço	
72	Jonas	por favor	

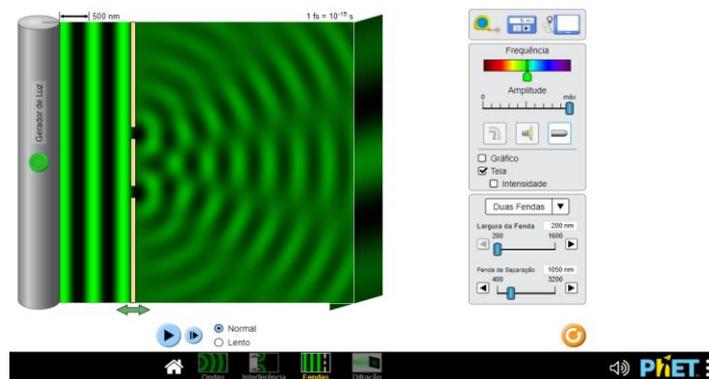
73	Samuel	pode ser // o que tá fazendo é o seguinte / de novo / o princípio de Huygens / quando você bota essa fenda / cada nova onda que você vai atravessar e ser quebrada ela vai sofrer uma nova difração aí / então essa fenda se comporta como uma nova fonte de ondas / bota fé (?) aí cai naquele exemplo que a gente tinha discutido anteriormente / que era do bagulho produzindo onda e vai interferir / é a mesma coisa mano / vai cair naquele exemplo ali / volta lá	
74	Jonas	então você acha que / vamos ver se vai gerar mais crista ou menos crista / não sei	
		Lucas compartilha a sua tela e roda a simulação.	
75	Lucas	beleza / nessa largura a gente tem as três / que é a largura que ele colocou / e se a gente diminui no mínimo / a gente vai ter mais formação de crista / ou não / ou nada né	<p>Configura a largura das fendas da mesma forma que é mostrada na Figura 38, e observam três franjas brilhantes na tela.</p> <p>Quando Lucas diminui a largura das fendas, observam que as franjas brilhantes se tornam menos espessas e com brilho mais fraco (Figura 39).</p>
76	Jonas	pera // aumenta / aumenta / aí / vamos ver	Lucas aumenta a largura das fendas e observam praticamente uma única franja brilhante no

			centro da tela (Figura 40).
77	Natan	nossa	
78	Lucas	viu (?)	
79	Jonas	pera // a gente faz uma crista só (?) é né (?) é	
80	Samuel	é // por que o que acontece (?) quando você aumenta o tamanho da fenda / essa onda vai perder aquela / tipo / ela vai deixar de ser uma onda circular e vai ficar quase como uma onda plana / bota fé (?) onda plana ela vai bater / se não tivesse aquela fenda / ignora essa fenda aí / se não tivesse esse anteparo / essa onda ia bater ali e ia preencher ali tudo / fraga (?) o que o anteparo faz quando você aumenta ou diminui o tamanho dele é aumentar ou diminuir a difração que vai sofrer a onda / bota fé (?)	
81	Jonas	uhum	
82	Samuel	e isso tem uma mudança / porque tipo / essa difração vai gerar interferência de ondas / que podem ser construtivas ou destrutivas e isso vai fazer com que / com que tipo / que que eu tô falando / ah / isso vai dar outro padrão de formação aí	
83	Lucas	então tipo assim / olha / com a mesma largura da fenda / se a gente / tá tipo / tá dependendo da fenda e da separação também / tá vendo (?) isso que é foda	
84	Jonas	são muitas questões / que isso	
85	Lucas	calma	
86	Jonas	eu acho que quando a gente aumenta a ondinha e o tamanho da fenda / a gente tá deixando as ondas e as cristas / tipo assim / eu não acho que a gente tá aumentando ou diminuindo a quantidade de ondas e cristas / mas tipo assim / deixando elas mais bem definidas quando a gente // tipo / aumenta aí o tamanho da fenda Lucas // não tanto / aê // olha como elas vão ficando cada vez menos definidas / sabe (?)	Pede que Lucas configure a largura das fendas como na Figura 40.
87	Samuel	sim / mas é porque ela tá se comportando como uma frente de onda normal / fraga (?) a difração que ela sofre é mínima / bota fé (?) ou seja / o comprimento de onda dela nesse caso aí é muito maior do que no outro // porque pensa o seguinte / isso aí que a gente tá vendo / não é franja / não é o comprimento de onda / o que a gente vê ali é literalmente o comprimento de onda da onda / quando	

		ela bate ali o que você tá vendo é uma frente de onda / então você tá vendo o comprimento de onda / como se tivesse dando um zoom no pico da onda / bota fé (?)	
88	Jonas	boto fé // então ó / pra sintetizar / o que acontece quando a gente aumenta o tamanho da fenda (?)	
89	Samuel	quando a gente aumenta o tamanho da fenda a gente diminui a difração que a onda está sujeita / diminuindo assim o processo de interferência e aumentando assim consequentemente o comprimento de onda / por isso que a gente vai enxergar a tela toda preenchida / como se a onda se comportasse como uma única frente de onda plana que incidiu sobre o espelho // agora / quando a gente aumenta o padrão de interferência / a gente vê a formação de mais picos e mais vales	
90	Jonas	muito bom // quer dizer / pra mim tá bom / tá suficientemente bom (1 min) tipo assim / é pra responder ou pra / olha minha tela aqui / o que eu coloco (?) tá dando pra ver (?) aqui ó / “quando aumentamos o tamanho das fendas percebemos que o índice de difração das ondas que passam por essas fendas diminui / é possível observar que o padrão gerado no detector não é tão bem definido” // aí eu coloquei fenda maior com essa parada aqui e uma fenda menor com essa parada aqui e isso acontece / ele pediu pra explicar o que acontece / e agora (?)	Mostra o documento onde está redigindo a resposta para a questão e lê o que escreveu. Mostra que adicionou imagens de captura de tela da simulação nas situações em que as fendas têm maior e menor largura.
91	Samuel	então / mas acontece por causa da difração / quando a fenda tá maior ela sofre uma menor / a interferência que a onda tá sujeita é menor / fraga (?) porque tipo assim / vamos supor o seguinte / na hora que / o que acontece ali é o seguinte / você quebra a onda em um pequeno pedaço e a onda volta a se propagar / quando você quebra a onda em um pedaço grande é como se essa onda nem fosse quebrada / bota fé (?) por isso você vai ver um padrão de	Quando diz para olharem “fenda pequenininha” se refere à situação mostrada na Figura 39, e “na maior onda” à Figura 40.

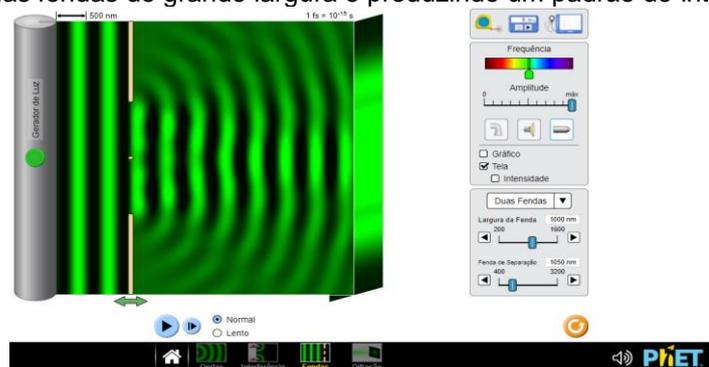
		<p>difração maior ou menor / bota fé (?) olha lá ó / fenda pequenininha / quebrei duas pequenas ondas / essas ondas vão se expandir / elas não vão virar uma frente de onda de novo / agora bota lá na onda maior / essa onda maior aí / ela já vai ter um maior comprimento de onda / e você nem quebrou nada nela praticamente / é como se ela tivesse se propagando sem a barreira / agora tira a barreira que vai bater uma onda inteira ali / fraga (?) é isso</p>	
92	Jonas	tá / vou responder e mando pra vocês	

Figura 39: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba fendas. Ondas planas atravessando duas fendas de largura mínima e produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Figura 40: Captura de tela da simulação virtual Interferência de Onda. Aba fendas. Ondas planas atravessando duas fendas de grande largura e produzindo um padrão de interferência na tela.



Fonte: Portal PhET.

Os estudantes decidem observar na simulação qual o efeito no padrão de interferência produzido na tela ao diminuir ou aumentar a largura das fendas (turnos 69 a 72). Antes de realizarem a observação, Samuel propõe uma explicação para o fenômeno que será observado (turno 73). Segundo ele, ao passarem pela fenda as ondas são quebradas, essas são as palavras que ele utiliza para expressar a ideia de que as ondas descrevem curvas na região de sombra, como predito pelo princípio de Huygens. E como resultado de haver duas fendas, as ondas circulares que partem

das fendas se superpõem, produzindo um padrão de interferência na tela que já haviam discutido sobre anteriormente.

Ao manipularem a simulação, o grupo observa que há três franjas brilhantes bem definidas no padrão de interferência, que eles interpretam como três cristas de uma onda. Lucas parece esperar que ao diminuir a largura das fendas, surgirão mais franjas brilhantes, que ele se refere como cristas, mas não é isso que ele observa (turno 75). E, ao aumentarem a largura das fendas, eles observam na tela um máximo de intensidade central, que interpretam como uma única crista (turno 81).

Samuel parece compreender corretamente o fenômeno da difração, e explica para o grupo no turno 80 que o que observaram ao aumentar a largura das fendas acontece porque quando a fenda é larga as ondas planas seguem através da abertura sem sofrer muitas alterações. Ele conclui que alterar a largura das fendas altera o grau de difração que as ondas sofrem. No turno 82, ele parece se referir ao caso em que há duas fendas, e parece querer dizer que é a difração sofrida pelas ondas luminosas que é responsável pelo padrão de interferência formado na tela, resultado de interferências construtivas e destrutivas das ondas circulares que emergem das fendas.

Jonas já parece não ter se apropriado do conceito de difração, pois seu discurso se mantém no nível de observação (turno 86), sem propor explicações para o que foi observado. Ele tenta compreender as explicações dadas por Samuel nos turnos 87, 89 e 91, mas ainda tem dificuldade de sintetizá-las em uma resposta escrita (turno 88 e 90). Fica ainda mais evidente que o estudante não compreendeu o fenômeno da difração ao afirmar na resposta redigida entregue ao professor e mostrada abaixo que aumentar o tamanho da fenda aumenta o grau de difração e diminuir o tamanho da fenda diminui o grau de difração:

“Quando aumentamos o tamanho das fendas percebemos que o índice de difração das ondas que passam por essas fendas diminui, é possível observar que o padrão gerado no detector não é tão bem definido. O padrão de interferência está diretamente ligado com o tamanho das fendas. O tamanho das fendas está relacionado com o índice de difração dessas ondas. Portanto, o padrão de interferência de duas ondas está ligado ao índice de difração ao qual essas ondas sofrem. Quando aumentamos o índice de difração, aumentando o tamanho da fenda, um padrão de interferência bem definido e com uma intensidade maior será

observado. O contrário, quando diminuimos o índice de difração pelo qual a onda sofre, diminuindo o tamanho da fenda, um padrão de interferência menos intenso será observado.”

Na resposta, o estudante se refere ao grau de difração como índice de difração, e apesar do uso do termo errado, a ideia da primeira afirmação está correta. Ao aumentar o tamanho das fendas a difração das ondas é quase imperceptível, e no padrão de interferência formado na tela não aparecem franjas bem definidas. Mas adiante na resposta essa ideia correta se contrapõe à afirmação errada de que ao aumentar o tamanho da fenda o grau de difração aumenta, resultando em um padrão de interferência bem definido.

Parte 6

A sexta pergunta se encontra no enunciado da questão (Figura 26), e Jonas a lê em voz alta pra o grupo dando início ao diálogo da Parte 6.

Quadro 53 - Episódio 6: Parte 6			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
93	Jonas	“o que aconteceria se as duas fontes de onda não produzissem ondas com frequência constante (?)”	
94	Lucas	ia acontecer aquele bagulho lá que a gente falou na primeira	
95	Samuel	é / acho que se elas não produzissem ondas com frequência constante	
96	Lucas	ia ficar mais que bagunçado né	
97	Samuel	não / elas iam emitir um pulso / se elas emitissem um pulso ia ser uma coisa completamente / tipo / ia tender a preencher a tela toda / porque cada onda ia chegar ali com um certo comprimento de onda / aí	
98	Jonas	eu discordo	
99	Samuel	por que (?)	
100	Jonas	eu acho que se as duas fontes de onda não produzissem onda com frequências constantes / seria difícil de tentar descrever o que aconteceria no detector / porque isso vai depender dessas frequências e vai depender se essas diferenças de fase vão gerar padrões construtivos ou destrutivos // então / vai depender somente da ordem que isso for feito / e se isso vai gerar um	
101	Samuel	eu discordo de você / porque acho que não é difícil prever não	
102	Jonas	vai ser impossível de prever vei	

103	Samuel	<p>vamos colocar o seguinte / vamos marcar um tempo aqui agora / a gente iniciou nosso relógio aqui agora / quando der um segundo / o emissor de cima vai emitir um pulso / quando der três segundos / o emissor de baixo vai emitir um pulso / beleza // qual seria o padrão agora (?) o de cima tá emitindo a cada três segundos e o de baixo tá emitindo a cada um segundo / por algum motivo o segundo vai emitir mais um agora / ele emite um cinco e o outro vai emitir em 6 / e isso aí a gente vai fazendo essa bagunça / o que vai acontecer (?) essas ondas vão se sobrepor / e essa onda que colocar na tela ela pode ser uma onda com amplitude muito grande ou uma amplitude muito pequena / com isso / ela pode pintar grande parte da tela ou pequena parte da tela / mas se você for fazendo isso ao longo do tempo / sei lá / vou deixar 10 anos isso acontecer / uma hora você vai ver a tela toda pintada / fraga (?) e eu nem tô brincando ainda com a frequência desse cara // tipo / a frequência ali tá aleatória / bota fé (?) o que vai acontecer é que vão gerar pulsos que vão tender a cobrir a tela toda / e esse pulso / só que tipo assim / qual que é o tamanho do pulso que vai ser formado (?) bom / pode ser o tamanho da tela inteira e preencher com uma única vez / ou pode ser que esse comprimento de onda se anule / mas pela frequência só não dá pra falar tipo não vai ter nada na tela ou é impossível falar</p>	
104	Natan	algo vai ter	
105	Jonas	não / algo vai ter / mas o que eu tô falando é que vai ser difícil de tentar	
106	Samuel	<p>não / eu acho que você vai ter algo na tela e você não vai ter padrão / bota fé (?) porque o que acontece / como não vai ter frequência definida você não vai ter um padrão de interferência / você vai ter pulsos que na hora que eles podem ser emitidos eles podem coexistir no mesmo espaço de tempo e com eles coexistindo no mesmo espaço de tempo pode gerar algumas horas / algumas figuras de interferência / mas você não vai ter uma interferência constante / então você vai ter tipo um borrão na tela / fraga (?) imagina sei lá / que cada onda que passa vai dar um pontinho na tela / fraga (?) aí outra vai dar outro pontinho / completamente diferente na tela / fraga (?) acho que vai ser isso que vai rolar // mas tipo assim / duas fontes de onda</p>	

		produzindo ondas com frequência constante com ou sem fenda (?)	
107	Jonas	pois é / pois é	
108	Samuel	ah / vamos colocar num caso com fenda	
109	Jonas	sem fenda / vai	
110	Samuel	é / sem fenda / a gente pode até inserir isso na resposta // no caso sem fenda / o que ia acontecer era o seguinte / era o que você ia ter borrões na tela / agora um caso com fenda / eventualmente você ia ter / você também vai ter borrões na tela / só que eles podem ser bem definidos por causa da fenda // você pode gerar um padrão de interferência se tiver fenda / se não tiver você vai só pintando a tela aleatoriamente	
111	Jonas	tendi mano	
112	Lucas	pela primeira vez eu vou falar que concordo com vocês porque não tenho o que opinar / porque realmente	
113	Samuel	não precisa nem ser o bagulho de opinar / sabe aquele bagulho do grafite (?)	
114	Jonas	qual grafite (?)	
115	Samuel	que os caras pegam tipo o molde / fraga (?) imagina aquilo ali / agora imagina um cara que vai pintar uma parede / se você bota um bagulho daquele ali / um cara pra pintar tipo bem próximo da parede / fraga (?) você sabe a forma que vai sair / concorda (?) a fenda vai fazer o mesmo princípio quando a onda bater // se não tiver um espaço suficientemente grande pra onda voltar e aumentar o seu comprimento de onda / a onda que foi difratada pela fenda / ela vai bater e ficar naquele formato / agora imagina se ao invés de duas fendas eu vou ter 500 fendas naquele espaço / bem próximas da parede / e eu vou emitir ondas com frequência diferente // o que vai acontecer (?) eu vou ver 500 frentes de onda / bota fé (?) então tipo sim / quando tiver a fenda	
116	Jonas	e sem fenda (?)	

117	Samuel	sem fenda vai só preencher a tela aleatoriamente / porque pode ser que essas ondas por elas estarem numa diferença de frequência muito grande ou uma diferença de fase / elas nem tem frequência / pode ser que em algum momento os pulsos vão coexistir e vai sofrer interferência e pode ser que não	
118	Jonas	eu falei isso poxa / e vocês falaram / eu falei isso / vai ser difícil de tentar prever isso	
119	Samuel	não / não vai ser difícil / vai dar pra prever uma hora / dependendo do intervalo de tempo qualquer / sei lá / tempo daqui a dez anos você vai ver / você pode ver o bagulho preenchido / ou pode não ver	
120	Jonas	então / mas isso é mais difícil de prever do que uma onda com uma frequência constante	
121	Samuel	mas dá pra prever ue	
122	Jonas	sim / mas eu tô falando que vai ser difícil / pô // se a frequência mudar o tempo todo / a gente analisar o comportamento de cada choque de cada onda e analisar esses choques com os outros choques que vão rolar depois / isso vai complicar o nosso problema / pra tentar prever e descrever o que vai acontecer na parede // aí tipo / eu acho que a questão é sem fenda // e dá pra colocar isso mano // então eu vou colocar / ou não (?)	
123	Samuel	concordo mano	
124	Jonas	então tamo junto pô	

Era esperado que os estudantes discutissem que se as duas fontes de onda não produzissem ondas com frequência constante não seria formado um padrão de interferência na tela, já que não haveria uma diferença de fase fixa entre as ondas. No diálogo, parece que tanto Jonas quanto Samuel possuem a ideia de que não seria formado um padrão de interferência, mas eles expressam isso de forma diferente, fazendo com que considerem que possuem ideias contrastantes. Essa discordância entre Samuel e Jonas em relação ao padrão formado, como seria esse padrão e se seria possível prevê-lo ou não provoca uma tensão na discussão. Apesar disso, ao longo da construção das ideias, os dois estudantes acabam chegando a um consenso. Já Lucas e Natan não compartilham nenhum pensamento com o grupo.

No turno 100, Jonas dá a entender que acha que não será formado um padrão de interferência, pois não é possível saber se haverá pontos de interferência

construtiva ou destrutiva. E no turno 106, Samuel afirma que não terá um padrão de interferência na tela. Ao final da discussão eles percebem que compartilham da mesma ideia, e a partir disso Jonas redige a seguinte resposta para a questão:

“Se as duas fontes de onda não produzissem ondas com uma frequência constante, seria mais difícil de prever o comportamento dos padrões de interferência dessas ondas. Como discutido na primeira questão, os padrões de interferência estão diretamente ligados com as interações entre as duas ondas e a frequência ao qual elas são emitidas. Sabendo disso, é possível descrever o padrão de interferência gerado. Quando essas ondas são emitidas com uma frequência inconstante, o padrão de interferência dependerá das interações entre as duas ondas. As interações serão quase randômicas, portanto, veríamos no detector do final na parede, alguns borrões e, eventualmente, ondas e cristas. Em algumas partes da trajetória das ondas, podemos ter interferências de caráter construtivo e outras com caráter destrutivo. Quando maior for o número de fontes emissoras de ondas com frequências que não são constantes, mais difícil será de prever o comportamento do padrão de interferência produzido.”

Observamos ao longo do episódio que as poucas tensões que surgem de questionamentos e discordâncias não culminam em contradições a serem superadas, impossibilitando o surgimento de um modelo expandido de Atividade. É possível que o modelo da questão proposta contribuiu para esse fato. Para Mendonça (2019), a boa questão conceitual de física precisa provocar os sujeitos, gerar tensões e contradições na articulação entre o conhecimento já internalizado pelos sujeitos e a aplicação desse conhecimento a novas situações. Mas neste episódio, vemos que a questão não proporcionou tais resultados, não sendo uma boa questão para este grupo. Talvez apenas as perguntas 1 e 2 feitas no vídeo já teriam sido suficientes para desafiar os estudantes, possibilitando questionamentos e reflexões que os levariam a novos conhecimentos.

Podemos atribuir o insucesso desta questão à assimetria dos papéis desempenhados pelos sujeitos no Sistema de Atividade que compreende o episódio analisado, que impediu uma discussão em igualdade entre os integrantes do grupo. Ou ainda ao fato de a questão não ter sido contextualizada como as demais que apresentamos, não gerando tanto engajamento por parte dos estudantes como

aquelas que são fortemente relacionadas à vida cotidiana e despertam mais identificação.

Consideramos relevante a apresentação deste episódio, mesmo que não tenha oportunizado os resultados de aprendizagem desejados, pois casos assim são uma realidade em sala de aula e precisam ser analisados para que possamos aprender com eles.

6.4. Discussão acerca dos recursos mediacionais disponibilizados e utilizados na disciplina Física Conceitual

Em nossa análise sobre o uso de recursos mediacionais na Atividade desenvolvida pelos estudantes na disciplina Física Conceitual observamos que muitos deles são disponibilizados pelo professor, como o livro-texto, as questões conceituais que compõem o questionário que deve ser respondido a cada aula, as simulações virtuais e as intervenções nos trabalhos dos grupos. Um outro importante recurso, o diálogo entre pares, é proporcionado pela metodologia de trabalho em pequenos grupos adotada na disciplina. E, como complementação a estes já citados, os estudantes recorrem a recursos como textos, imagens e vídeos da internet, analogias, vivências anteriores, diagramas e anotações compartilhadas entre os colegas, conversas pelo WhatsApp, dentre outros.

Retomando os seis episódios apresentados, percebemos que alguns fatores levam os estudantes a decidirem pelo uso de determinados recursos em detrimento de outros. Um deles são as regras da Atividade, como a que estabelece que toda aula tem como referência um determinado capítulo do livro. No episódio 1, essa regra faz os estudantes optarem pelo conceito de inércia e excluírem a possibilidade de uso de outros conceitos ao proporem uma solução para a questão. Uma outra regra, que determina que as respostas devem ser escritas de modo que um estudante do Ensino Médio possa entendê-las, ou seja, sem o uso de formalismo matemático, fez o grupo rejeitar as propostas de Samuel para o uso de ferramentas matemáticas. Observamos isso acontecer nos episódios 1, 4 e 5, quando os estudantes não aprovam a introdução da linguagem matemática na discussão, até mesmo porque ela expressa um nível de dificuldade que na maioria das vezes os paralisa, não os permitindo evoluir na construção da resposta.

Um outro fator são as intervenções do professor ou professor convidado, como no episódio 1, em que a sugestão dele de que pensem sobre o conceito de inércia reforça a regra da Atividade citada anteriormente, o que os leva a focarem neste conceito para solucionarem a questão.

Por fim, consideramos que o maior fator são as próprias interpretações e considerações dos estudantes, que atribuem maior e menor importância aos diferentes recursos, como observamos no episódio 2. Nesse caso, os estudantes parecem acreditar que o uso de certos conceitos, talvez considerados por eles de maior importância, dão mais credibilidade à resposta.

Na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Expansiva, a ocorrência de aprendizagem depende do surgimento de tensões e resolução de contradições sucessivamente emergentes (ENGESTROM, 2016). Na análise dos episódios, identificamos que os recursos mediacionais fazem parte do processo de aprendizagem expansiva tanto provocando tensões como permitindo a superação de contradições.

No episódio 1, os estudantes atribuem maior importância a diferentes elementos teóricos no processo de construção da resposta, gerando uma tensão relacionada à discordância sobre a abrangência do problema e quais conceitos e ideias seriam adequados em sua resposta. No episódio 2, a introdução de novos recursos mediacionais pela consulta ao livro, no decorrer da Atividade, fazem emergir tensões que culminam em uma contradição entre recursos mediacionais (elementos teóricos e exemplo dado pelo professor) e o objeto da Atividade (busca de resposta satisfatória para a questão).

Já no episódio 4, após exploração do problema por meio de vivências dos estudantes, expressas em linguagem cotidiana, a retomada de leitura de um trecho teórico do livro auxilia os estudantes na superação de contradições. São, então, apoiados por este recurso, capazes de reelaborarem suas respostas com um padrão de linguagem e modos de pensar próprios da física.

Nem sempre as contradições identificadas são solucionadas, e os miniciclos potencialmente expansivos de ações de aprendizagem associados a elas não são completamente desenvolvidos. Apesar disso, a articulação dos diferentes recursos mediacionais disponibilizados na disciplina Física Conceitual possibilita provocações, inovações e mudanças da Atividade e de seus participantes, que dificilmente seriam

observados em outros modelos de sala de aula, como aquelas que adotam o método tradicional de ensino expositivo. Mesmo quando o ciclo não culmina em uma resposta coerente e adequada ao que é demandado pelo professor, a Atividade gera oportunidades de aprendizagem sobre a física e sobre o uso de argumentação com os pares para construção de explicações sobre fenômenos e processos físicos.

Em relação ao livro-texto adotado na disciplina, entendemos que o fato de ser um híbrido semiótico o torna um recurso mediacional rico na aprendizagem de física, pois carrega em si vários outros recursos que medeiam a Atividade dos sujeitos. No episódio 1, o grupo recorre ao conteúdo teórico do capítulo do livro para eleger o conceito que deve ser empregue na solução da questão; já no episódio 2, é uma figura presente no livro que direciona a Atividade dos estudantes. No episódio 3, os estudantes identificam no livro-texto um exemplo de uma situação semelhante à situação do problema que precisam solucionar revisitando os passos para elucidação do problema; por fim, no episódio 4, também a partir de um trecho teórico, o livro auxilia os estudantes na transição entre linguagem cotidiana e científica no processo de elaboração da resposta à questão proposta.

Compartilhamos com as avaliações do professor de que, para o estudo de temas mais complexos e pouco familiares aos estudantes o livro-texto pode ter a limitação de tratar de fenômenos físicos de forma muito abstrata, sendo necessário disponibilizar recursos que possibilitem mais concretude e visualização dinâmica desses fenômenos, como os simuladores virtuais. Além da visualização dos fenômenos e da representação de entidades abstratas, como campo magnético e corrente elétrica, os simuladores permitem a identificação e controle das variáveis envolvidas e, por meio delas, ações práticas como em um laboratório virtual.

A partir da análise dos episódios 5 e 6, concluímos que as simulações cumprem o objetivo de permitir a visualização dinâmica de fenômenos físicos, bem como a representação de modelos abstratos. Desse modo, encorajam e dão suporte às Atividades dos estudantes, trabalhando em grupos, de construção de explicações para os fenômenos em tela. Apesar disso, vimos que a interpretação dessas representações não é a problemática e pode conduzir a equívocos. Notamos, ainda, que o nível dos problemas propostos deve ser dosado para manter a Atividade dos sujeitos. A combinação dos simuladores com a leitura do livro-texto se mostrou, quando bem coordenadas entre si, bastante profícua.

A familiaridade com os fenômenos parece ser, também, um ponto importante a observar. Notamos que os simuladores são mais eficazes para a aprendizagem quando os fenômenos observados podem ser aplicados em contextos da vida cotidiana e quando envolvem representações do funcionamento de artefatos familiares e de reconhecida relevância (como geradores elétricos).

7. DIVISÃO DO TRABALHO NA DISCIPLINA FÍSICA CONCEITUAL

Em nosso Sistema de Atividade, o professor e um grupo de estudantes da disciplina Física Conceitual constituem uma comunidade. Em uma comunidade, a divisão de trabalho é necessária, e se faz em uma contínua e negociada divisão de tarefas, poderes e responsabilidades entre os participantes do Sistema de Atividade (ENGSTRÖM, 1987).

Engeström (1987) salienta que a divisão do trabalho em uma Atividade cria diferentes posições para os participantes, pois cada um carrega sua própria história individual, e o próprio Sistema de Atividade tem a bagagem de múltiplas camadas e fios de história gravados em seus artefatos, regras e convenções.

Observamos na disciplina Física Conceitual que professor e estudantes assumem papéis e alternam poder e autoridade, em alguns momentos entre o professor e os estudantes, com o professor exercendo autoridade, em outros entre os próprios estudantes, partilhando autoridades. É interessante notar ainda que no estabelecimento da divisão do trabalho nos grupos, as regras da Atividade repercutem fortemente.

Assim, nosso objetivo é investigar e compreender mais profundamente como os sujeitos do nosso Sistema de Atividade se organizam dentro da comunidade, como dividem tarefas, que papéis são exercidos por cada um e como as diferenças são resolvidas ou trabalhadas nos grupos. Buscamos com isso fornecer subsídios para o professor planejar sua intervenção, seja no sentido de favorecer as condições para o desenvolvimento das potencialidades do grupo na realização de suas tarefas, seja no sentido de alinhar as regras da Atividade com os grupos.

7.1. Modos de organização dos grupos

As ações e interações entre os participantes da comunidade são reguladas pelas regras, sendo elas explícitas ou implícitas, que se referem ao conjunto de normas, convenções e padrões considerados corretos e aceitáveis.

No nosso Sistema de Atividade, algumas regras foram determinadas pelo professor e comunicadas aos estudantes na aula de abertura e apresentação da disciplina. A partir disso, os grupos se organizaram e estabeleceram a divisão do trabalho, mas nem sempre seguindo todas as regras do professor.

Um das regras que o professor estipulou foi o rodízio entre os redatores para cada aula, ou seja, a cada encontro síncrono para resolução do questionário, um dentre os quatro integrantes do grupo deveria ficar responsável pela produção escrita das respostas consentidas pelo grupo. Essa regra foi adotada no grupo escolhido para análise, mas em outros não, como relatado pelos estudantes em entrevista.

No grupo acompanhado, que chamaremos aqui de Grupo 1, os estudantes relataram que a prioridade durante a Atividade era que todos estivessem juntos na discussão das questões. Assim, ao finalizarem a discussão de uma questão e chegarem em um consenso para a resposta, o grupo aguardava um tempo antes de passarem para a próxima a fim de que o redator pudesse exercer a sua função de formular a resposta escrita após a discussão, como colocado por Lucas e Natan nos trechos a seguir:

Quadro 54 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 5
Lucas: Então / a divisão de trabalho dentro do meu grupo durante as aulas foi basicamente sempre a mesma / a gente esperava todo mundo chegar e tal / e ia fazendo uma questão por uma / não tem muito segredo (...) então a divisão foi essa / todo mundo fazia tudo junto / sempre a mesma questão / sem atropelar / o máximo que a gente fazia / ia lendo a próxima questão pra quando o redator acabasse de escrever a gente já tava ali na ponta do prego

Quadro 55 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 2
Natan: Todos discutiam uma e depois passava / às vezes pulava quando tinha muita dificuldade / por causa do tempo / mas todo mundo discutia e depois passava / a gente esperava a pessoa que tava redigindo escrever pra depois passar / só quando tava faltando tempo mesmo que a gente começava a ler antes da pessoa que tava redigindo / só nesses casos

A maioria dos estudantes do Grupo 1 parece não ter tido problemas no rodízio do redator a cada aula, e nem em exercer tal função, mas o integrante Samuel

menciona um aspecto negativo observado no trabalho do grupo devido a existência desse papel de redator:

Quadro 56 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 3
Samuel: (...) uma coisa que eu sentia muito é que o dia que era relatório da pessoa / tipo / sei lá / sou o redator hoje / as outras três pessoas elas ficavam um pouco menos responsáveis do que elas poderiam ser // no dia que era o relatório delas / elas ficavam mais responsáveis por causa da questão dos pontos // mas acho que é uma coisa até natural né / acho que foi a única coisa que teve de falha do meu grupo que eu posso falar / de resto tudo bem / acho que ninguém ficava boiando na discussão / todo mundo acrescentava / ninguém era de ficar muito calado (...) tirando esse negócio do redator / acho que // parece que eu falei que a pessoa ia avacalhar porque não ia ganhar o ponto / mas não é isso / sei lá / você sentia que a pessoa não tava dando tudo de si // tipo / ah / se eu não sei isso / ou posso olhar ou posso ficar aqui quietinho esperando vocês discutirem / aí isso eu senti / tipo / hoje não é meu relatório / então vou ler de uma maneira mais superficial / sabe (?) mas é natural

Todos os relatórios eram corrigidos pelo professor e avaliados, sendo que a pontuação era dobrada para o redator do relatório. Para Samuel, isso fazia com que os colegas se preocupassem menos na preparação para a aula e na produção de respostas para as questões nos dias em que não exerciam a função de redator. Ou seja, não se empenhavam ao máximo na leitura prévia do capítulo indicado para a aula e nem nas discussões. Ele considera essas oscilações dos estudantes algo natural, e pode ser porque em todos os níveis de ensino a preocupação dos estudantes com as notas costuma sobressair a preocupação com a aprendizagem.

É interessante notar que a preocupação de que todos os estudantes consigam participar da discussão da questão é comum a todos os grupos, e é o motivo que leva alguns grupos, aqui denotados por Grupo 2 e Grupo 3, a escolherem não adotar a regra de haver um estudante com a função de redator a cada aula. Isso fica evidente nas falas das entrevistas mostradas a seguir.

Quadro 57 – Entrevista com o estudante Caio: Trecho 1
Caio: A nossa organização foi principalmente / a gente primeiro debatia sobre a questão / debatia sobre como a gente podia resolver ela basicamente / nos conhecimentos que a gente já tinha / e depois que a gente discutia a gente chegava numa conclusão / a gente virava um pro outro e perguntava “quem pode redigir essa questão” (?) a pessoa se voluntariava / escrevia e mandava no nosso grupo fechado do WhatsApp / aí a pessoa ia lá colocava a resposta redigida / e a gente via lá se tá certinho / se a pessoa escreveu certinho / se não tem nenhum erro de português / se a gente pode melhorar / se ela foi aprovada o aluno basicamente ia lá e colocava no e-mail pra enviar pro professor / basicamente era assim o nosso meio de organização pra resolver a questão

Caio é um integrante do Grupo 2, e como relatado por ele, o grupo se organizou de forma que a cada aula havia um redator, que não tinha a função de formular uma resposta escrita para cada questão, mas sim de agrupar todas as respostas redigidas que passaram por um processo de validação do grupo para o envio para o professor. A função de redigir as respostas das questões era compartilhada com todos os membros do grupo.

A entrega do questionário respondido ao final de cada aula também era uma regra da Atividade determinada pelo professor, e para cumprirem tal regra, o Grupo 3 adotou a mesma organização do Grupo 2, transformando o redator em um revisor, como dito por Paulo e Rodrigo nos trechos mostrados abaixo.

Quadro 58 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 2

Paulo: (...) aí o que a gente fez / a gente pegou e criava um arquivo no doc e aí cada um ia ajudando / um era o redator mesmo que escrevia / o que tinha que escrever / mas os outros às vezes ajudava a escrever / porque não dava tempo do outro escrever / ou então às vezes todo mundo ia escrevendo / o próprio redator ia escrevendo / mas aí o redator era quem revisava o texto de todo mundo pra poder garantir que aquilo lá tava certo // a gente acabou transformando o redator em um revisor / revisor do que a gente tava fazendo

Quadro 59 – Entrevista com o estudante Rodrigo: Trecho 2

Rodrigo: (...) o nosso método era ler pergunta por pergunta / fazer elas juntas e chegar a um consenso / caso a gente não entendesse muito bem chamava ajuda / caso começasse a complicar muito passava pra próxima / no início a gente tomou muito tempo da aula / a gente sempre entregava com atraso / e depois a gente encurtou esse tempo gasto (...) e a função do redator era só editar e enviar para o professor / isso surgiu organicamente (...)

Os estudantes do Grupo 3 relataram uma dificuldade em entregar o questionário respondido no horário estabelecido pelo professor, e para contornarem essa dificuldade também acabaram por compartilhar a função de redigir as respostas das questões. Paulo justifica essa organização do grupo e a avalia no seguinte trecho:

Quadro 60 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 3

Paulo: (...) acabava que ou a pessoa ficava muito sobrecarregada pra tentar escrever e tentar prestar atenção ao mesmo tempo / porque acabava que ela não participava da discussão / ou então a pessoa simplesmente não tem discussão e aí não aprende o outro conteúdo que tava lá / e aí ela não pega o conteúdo e faz só a parte dela e fechou / e fica por aquilo mesmo / não tem avanço assim (...) e achei eficiente porque primeiro que a gente conseguia todo mundo discutir /

não ficava sobrecarregado / e ao mesmo tempo a gente conseguia terminar o trabalho a tempo porque todo mundo tava escrevendo

Segundo o estudante, quando o redator exercia sua função sozinho não conseguia participar de forma ativa da discussão e, para ele, isso impedia a compreensão do conteúdo abordado e o avanço na aprendizagem. Ele então avalia positivamente o compartilhamento da função de redator entre os integrantes do grupo, pois permitiu a participação de todos os estudantes na discussão e, conseqüentemente, permitiu que todos pudessem avançar na aprendizagem de física. Além de possibilitar a entrega do questionário respondido ao professor no horário estabelecido.

Alice, integrante do Grupo 2, compartilha da percepção de Paulo ao fazer a seguinte declaração:

Quadro 61 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 6

Alice: (...) mesmo a gente tendo um redator / às vezes a gente mandava outra pessoa poder escrever enquanto a gente terminava de debater outro assunto / porque a gente testou uma vez deixar só o redator escrever e acabou que ele ficava só escrevendo e não prestava muita atenção no que a gente tava debatendo / então a gente meio que trocava assim toda hora / pra poder deixar mais dinâmico e conseguir absorver mais

A partir das falas dos estudantes, identificamos uma contradição entre regras e objeto da Atividade, já que se um único estudante assume a função de redator em uma aula (regra), sua participação na discussão e, conseqüentemente, sua aprendizagem em física (objeto) ficam comprometidas. Na tentativa de superar tal contradição, os estudantes promovem mudanças nas regras, priorizando a participação de todos os membros do grupo na discussão das questões. Essa mudança pode implicar em uma nova contradição no elemento da Atividade regras, já que quando todos os integrantes participam da discussão (regra 1), o tempo gasto na Atividade é maior, dificultando o cumprimento do horário estabelecido para entrega do questionário respondido (regra 2). Novamente, alguns grupos se mobilizam para superar essa nova contradição, agora ocasionando uma mudança na divisão do trabalho, ao mudarem o papel do redator. Observamos então o que foi declarado por Engeström (2001), que as tentativas de superação das contradições são impulsionadoras de mudança e desenvolvimento da Atividade.

Mesmo que nos grupos os estudantes tenham estabelecido que todos os membros tinham uma função em comum, que era participar ativamente da discussão, eles reconhecem que a maneira com que exerciam essa função era bem dinâmica, mudando de acordo com as particularidades de cada estudante e de cada questão discutida. Isso fazia com que poderes e autoridades fossem alternados constantemente. Esse aspecto foi mencionado nos trechos que seguem.

Quadro 62 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 6

Lucas: Houve certas questões que só um membro do grupo tinha conhecimento da questão e os outros três ficavam tipo / que (?) então houve situações em que eu garanto que os quatro não puderam colaborar / mas também garanto que isso é uma situação muito normal né / nem sempre a gente sabe tudo / mesmo lendo o capítulo todo / nem sempre a gente tem que entender tudo claramente

Quadro 63 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 4

Samuel: Igual / a gente montou um grupo no WhatsApp onde a gente ia discutindo resposta / acho que talvez a pessoa não falava ali na hora da discussão / mas ele tava ali mandando link de vídeo / mandando link de questão que era basicamente a mesma resolução / pra dar uma luz / então era uma boa divisão de trabalho né

Lucas esclarece que nem sempre a contribuição de todos os integrantes do Grupo 1 para a discussão das questões era a mesma, já que para alguns conteúdos abordados nas questões não possuíam conhecimento prévio ou não foi possível compreenderem com profundidade apenas com a leitura do livro. Mas para Samuel, as contribuições não eram apenas falas durante a discussão, a pesquisa de vídeos e informações na internet também era uma forma de ajudar o grupo a desenvolver explicações e respostas.

Quadro 64 – Entrevista com a estudante Beatriz: Trecho 3

Beatriz: Acho que todos teve um papel importante né / cada um ajudou um ao outro / complementou as coisas / então cada um teve um papel importante / tenho certeza que cada um aprendeu com cada um / sabe (?) foi muito válido

Quadro 65 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 4

Paulo: Acabava que enquanto o grupo não tava completo a gente sempre acabava desviando / e dava problema // mas sempre a gente acabava que se completava muito bem sabe (?) tentar fazer esse equilíbrio é complexo / mas eu acho útil (...) eu acho relevante conseguir trazer essa questão / essa dinamicidade de cada um fazer uma coisa / de todo mundo aprender / e não ficar muito monótono

As falas de Beatriz e Paulo nos levam a entender que a dinamicidade na divisão do trabalho ao alternarem papéis e status permite aos estudantes complementar suas funções e suprir as necessidades do grupo durante a Atividade, os levando a resultados desejados, como a produção de explicações para as questões conceituais e a aprendizagem de física.

7.2. Organização do Grupo 1 - entendendo os sujeitos e a divisão do trabalho no nosso Sistema de Atividade

No grupo acompanhado, o Grupo 1, a decisão da forma de organização do trabalho foi determinada no decorrer da primeira aula em que o grupo se reuniu. A divisão do trabalho acordada pelo grupo foi a seguinte: um dos integrantes lia o enunciado da questão em voz alta para todo o grupo e então todos os integrantes participariam da discussão com ideias e argumentos. Após entrarem em um consenso sobre a explicação para a questão, o redator formularia uma resposta escrita que deveria ser enviada em um grupo de WhatsApp para avaliação dos colegas, se houvessem sugestões para melhoria da resposta, o redator deveria fazer correções, e só então passariam para a próxima questão, repetindo todo o processo. Ao final do trabalho, o redator deveria reunir todas as respostas redigidas em um único documento, que seria enviado ao professor para correção.

Alguns trechos em que os estudantes dialogam sobre a organização do trabalho no grupo estão reunidos abaixo.

Quadro 66 - Aula 1: organização do trabalho em grupo			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Jonas	Já é pra responder ou vai falar alguma coisa (?)	
2	Lucas	Uai / vocês querem ler primeiro e depois // como que é (?) quer ir fazendo de uma em uma (?) vamos fazendo de uma em uma / aí a que a gente não tiver noção a gente pula	
3	Jonas	Bom / agora vai querer ler (?) eu vou ler já que eu comecei a falar / cada hora um lê uma e aí a gente vai respondendo.	
(...)			
4	Lucas	Como que a gente vai responder a 1 (?)	

5	Samuel	Ah / vamos fazer do jeito arcaico ne / a gente escreve num lugar e depois copia e cola em outro // vou fazer lá naquele grupo nosso	Se refere ao grupo de WhatsApp.
---	--------	---	---------------------------------

Já no início da Atividade, ao se depararem com a primeira questão do questionário da aula 1 os estudantes sentem a necessidade de acordar algum tipo de organização (turno 1), distribuindo funções e estabelecendo maneiras de conduzir os processos necessários para a realização da Atividade. Cada estudante dá uma contribuição para a organização, Lucas sugere que façam uma questão por vez, dando a entender que considera importante que todos os membros do grupo estejam empenhados ao mesmo tempo na discussão e formulação da resposta da mesma questão (turno 2). O estudante também propõe que as questões que não conseguirem responder sejam saltadas, ao longo das aulas observamos que nesses casos o grupo sempre solicita ajuda ao professor e então retomam à questão saltada.

No turno 3, Jonas sugere que o enunciado da questão seja lido em voz alta por algum integrante do grupo, isso marca o início do processo de resolução de uma questão e direciona a atenção de todos os estudantes para o mesmo ponto, colocando o grupo em sintonia. Durante as aulas, observamos que o próprio Jonas e Lucas são quem mais exercem essa função de ler o enunciado da questão em voz alta para o grupo, demonstrando nessa e em outras situações da Atividade maiores papéis de liderança.

Ao finalizarem a discussão da primeira questão da aula 1, o grupo questiona como será a produção da resposta escrita para ser entregue ao professor, Samuel propõe que o redator redija a resposta da questão no grupo de WhatsApp formado por eles e depois reúna todas as respostas em outro documento. Essa sugestão é acatada pelo grupo e realizada durante toda a disciplina.

Como mencionado na seção anterior, os grupos relataram uma dificuldade do redator em exercer sua função e ainda participar ativamente da discussão das questões. No trabalho do Grupo 1, essa dificuldade fica evidente nas situações mostradas abaixo, que aconteceram durante a aula 3, em que Samuel era o redator, e aula 9, em que Jonas exercia tal função.

Quadro 67 - Aula 3: problemas enfrentados pelo redator			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Lucas	Três né (?) vocês tão pensando aí (?)	Se refere à questão 3 do questionário.

2	Samuel	Vei / pera aí que eu quero ficar junto com vocês / tô me sentindo boiando	
3	Jonas	É / vamos esperar ele	
4	Lucas	Tranquilo	

Na aula 3, após a finalização da discussão sobre a questão 2, Lucas chama o grupo para a discussão da próxima questão (turno 1). Mas Samuel, que é o redator daquela aula, pede para que os colegas esperem que ele acabe de redigir a resposta da questão 2 antes de partirem para a discussão da questão 3, para que ele também possa participar (turno 2). Ele sente que se não consegue participar da discussão fica “boiando”, ou seja, ele não consegue acompanhar as ideias do grupo e não compreende o que foi discutido.

Quadro 68 - Aula 9: problemas enfrentados pelo redator			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Samuel	Vou tentar falar menos amanhã vei / acho que eu falei muito hoje // acho que vocês tão ficando tímidos	
2	Jonas	Mano / tipo assim / eu acho que a gente não tem que focar em tipo assim / ah / a gente tá falando muito ou a gente tá falando pouco / se você tem o que falar / fale / se você não tem o que falar não fale / tipo / mano / eu tentei falar o máximo que eu consegui nos outros dias vei // hoje como eu tava escrevendo / sério / não é desculpa / mas não deu tempo muito de eu entrar na discussão	
3	Samuel	Pra quem tá escrevendo é muito foda / porque tipo assim / eu acho que quando você escreve você não consegue participar tanto da discussão vei	
4	Jonas	É / e eu não tô nem um pouco incomodado com isso / tipo / isso vai rolar com vocês nos outros dias também	
5	Lucas	Já rolou já com todo mundo	

No final da aula 9, Samuel se mostra preocupado em estar inibindo os colegas por expor mais suas ideias durante a discussão do que o restante do grupo (turno 1). Mas Jonas justifica que a sua baixa participação nas discussões durante aquela aula aconteceu porque ele estava na maior parte do tempo ocupado com a redação das respostas, não conseguindo conciliar as duas funções (turno 2). Os colegas concordam que é difícil participar da discussão quando são os redatores (turnos 3 e 5).

Apesar de reconhecerem e enfrentarem essa dificuldade, os estudantes do Grupo 1 continuam adotando o papel do redator como proposto pelo professor, ao contrário dos Grupos 2 e 3, que alteraram esse papel. Para contornarem o problema do redator não conseguir participar ativamente das discussões das questões enquanto redige as respostas, o grupo decide por sempre tentarem esperar o redator terminar a redação das respostas antes de partirem para a discussão da próxima questão, mesmo que isso aumente o tempo gasto para realizarem a Atividade. Essa decisão é reafirmada na aula 12, quando mais uma vez, Lucas aponta que a prioridade do grupo deve ser que todos estejam no mesmo ponto da Atividade, e participem juntos da discussão (Quadro 69).

Quadro 69 - Aula 12: organização do trabalho em grupo			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Lucas	Eu tava pensando que nem que atrase um pouco / pelo menos a gente pode só ler aqui quietinho / mas vamos tentar fazer todo mundo junto sempre pra não atropelar / fraga (?) acho que	Se refere a ler em voz baixa a próxima questão enquanto o redator redige a última questão discutida.
2	Samuel	Também acho	
3	Jonas	Também acho	
4	Lucas	É melhor pro desenvolvimento do grupo	

Assim como nos outros grupos, no Grupo 1, o gerenciamento do tempo para conseguirem entregar o questionário respondido no horário estabelecido pelo professor foi pauta de reflexões acerca da divisão do trabalho. Uma dessas reflexões aconteceu na aula 13:

Quadro 70 - Aula 13: reflexões sobre o gerenciamento do tempo			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Lucas	Ontem né / vou compartilhar com vocês um momento íntimo meu / enquanto eu estava fazendo a minha caminhada / eu pensei em modos da gente não ocorrer o que ocorreu ontem / da gente terminar 10:30 sabe / um deles é a gente determinar certos tempos para cada questão / mas acho que ficaria algo muito robótico e duro / sabe (?) aí eu desisti de pensar / pronto / essa é a história	O horário da aula era de 08:00 às 10:00.

2	Samuel	Eu tenho uma sugestão pra isso / e eu acho que tipo assim / acho que nós podíamos dividir nós mesmos em pares / olha que ideia incrível / a gente pode se dividir em pares / e cada par faz 4 questões / acho que a gente vai otimizar nosso tempo e a gente consegue terminar as questões antes de 9:00	
3	Lucas	Mas aí perde o objetivo de todo mundo discutir e aprender sobre o mesmo tema // aí você está limpando o chão com o pé sujo	
4	Samuel	Não meu caro // mas tem o jeito certo / só a gente chegar aqui 7:50 / 10 minutos antes pra ler as questões acho que ajuda pra caramba / com o capítulo já lido	

No turno 1, Lucas se mostra preocupado por terem atrasado a entrega do questionário respondido na aula 17, e parece achar necessário encontrarem uma forma para que esse atraso não aconteça novamente. A única solução que ele consegue encontrar é estipular um tempo para a resolução de cada questão. Mas ele mesmo não considera essa solução viável, já que isso tornaria o trabalho pouco flexível, o que é prejudicial, visto que algumas questões são mais complexas e demandam mais tempo de discussão do que outras.

Samuel sugere que dividam o grupo em duas duplas para que cada dupla fique responsável pela resolução da metade das questões, o que diminuiria o tempo gasto na Atividade (turno 2). Isso faria com que uma dupla não trabalhasse os conteúdos abordados nas questões resolvidas pela outra dupla, impossibilitando a aprendizagem desses conteúdos. Lucas reconhece isso no turno 3, considerando a proposta de Samuel uma solução ruim para o problema do gerenciamento do tempo. O próprio Samuel também considera que essa não é a melhor maneira, e sugere então que o grupo inicie o trabalho 10 minutos mais cedo para a leitura de todas as questões, ele parece pensar que isso ajudaria a associarem mais facilmente o conteúdo abordado nas questões com o que foi lido no livro (turno 5).

Observamos no decorrer das aulas que essa sugestão de Samuel não é colocada em prática, e para um bom gerenciamento do tempo, o grupo apenas tenta ser mais objetivo nas discussões a fim de entregarem o questionário respondido no horário esperado. Além disso, o grupo procura manter sempre o redator em conjunto com as discussões do grupo.

Nos trechos mostrados nesta seção e também nos episódios analisados nas seções 6.2.4 e 6.3.3, percebemos que por mais que os estudantes estivessem empenhados em exercerem as mesmas funções, as características individuais de cada um faziam com que desempenhassem papéis principais diferentes no grupo.

Lucas sempre se mostrou proativo, tentando direcionar o grupo ao que precisava ser feito. Durante as discussões era participativo, contribuindo com ideias e reflexões, se referindo a leitura do livro com frequência. Sempre comentava sobre sua preparação prévia para a aula, a partir da leitura do capítulo do livro indicado e da resolução do questionário online sobre sua interpretação do capítulo. Também costumava entrar na sala virtual antes do horário da aula para ler todas as questões que deveriam ser respondidas e ir refletindo sobre elas. Quando perguntado que papel exerceu durante a Atividade, Lucas fez a seguinte declaração:

Quadro 71 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 7
Lucas: acho que o único papel que eu me daria era manter as pessoas focadas / de vez em quando elas voavam / eu falava “gente vamos focar / bora / não desanima não” / eu só encorajava um pouquinho mais assim / mas papel específico assim não / nenhum / só isso

O estudante reconhece que ele direcionava as ações do grupo, principalmente em momentos de dispersão, mas parece não se considerar como um líder, ou alguém com maior autoridade no grupo. E de fato, observamos entre os estudantes relações horizontais, sem muita assimetria de poder e status. Apesar disso, Natan define o colega como um líder (Quadro 72), provavelmente por perceber que Lucas ajudava o grupo a cumprir as tarefas, motivando-os, e não por considerar que o colega exercesse um papel de autoridade.

Quadro 72 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 3
Natan: Lucas era mais um liderzinho (...)

Em relação a ele mesmo, Natan não soube definir o papel que desempenhou no grupo, mas Lucas expressou sua opinião sobre o colega no trecho abaixo.

Quadro 73 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 8
Lucas: O Natan não tenho palavra pra definir ele / porque ele é muito calado / mas ele ajuda bastante a gente / ele sempre lia / ele pesquisava alguma coisa pra gente na internet / achava (...) cada um tinha um papel meio que específico, mas todos estavam fazendo a mesma coisa / mas cada um tinha seu jeitinho

Como destacado por Lucas, Natan mostrava ter sempre realizado a leitura prévia do livro. Quando uma questão se tratava de uma situação parecida com alguma retratada no livro, ou envolvia algum exemplo ou figura do capítulo lido, o estudante indicava os trechos que poderiam contribuir para a resolução da questão e em que página se encontravam. Mas dificilmente ele reproduzia as explicações do livro em suas falas, ou expunha as suas próprias, se mantendo mais calado do que os colegas. Esse fato está associado a uma característica individual do estudante em ser mais introspectivo ou tímido, assim, percebemos que os sujeitos e suas particularidades influenciam na divisão do trabalho, assim como em todos os outros elementos do Sistema de Atividade.

A menor participação de Natan nas discussões não o impedia de dar contribuições para o trabalho do grupo, ele muitas vezes trouxe novos recursos mediacionais para a Atividade do grupo, como vídeos, figuras e informações da internet, que transformaram as ações dos estudantes e impulsionaram a Atividade.

O estudante Jonas não pôde conceder uma entrevista e, por isso, não temos conhecimento de sua visão sobre seu papel no trabalho do grupo, mas Lucas sinaliza uma das características do colega ao compartilhar sua visão sobre ele:

Quadro 74 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 9
Lucas: O Jonas ele sempre ficava / ele sempre tem um pé atrás / porque 99% de certeza pra ele não é bom / e isso é uma coisa muito boa / você sempre ficar curioso para realmente aquilo estar certo

A percepção de Lucas sobre o colega Jonas é fiel ao que observamos do estudante ao longo da disciplina, ele sempre questionava e refletia sobre as explicações dos colegas até ter entendido completamente o que queriam dizer e ter certeza que aquela explicação fazia sentido do ponto de vista científico e estava coerente com a física. A preocupação de Jonas não era se o questionário seria todo respondido e entregue no tempo esperado, e sim se as respostas entregues estavam o mais corretas possível. Ele desempenha então uma função de assegurar o entendimento do que havia sido colocado nas respostas, a qualidade delas e, conseqüentemente, a aprendizagem de física.

O último integrante do grupo, Samuel, é o estudante mais avançado no curso de Física, e a bagagem a mais que ele possui em relação aos colegas influencia muito

o papel que ele desempenha no grupo. No trecho abaixo ele discorre sobre sua participação nas tarefas.

Quadro 75 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 5
Samuel: Sei lá / tipo / acho que no meu grupo eu tive muito o papel de dar o primeiro passo / não sei / tipo / mas talvez seja por isso mesmo / porque como eu já tinha sido exposto as outras disciplinas de física / eu tinha um pouco mais de maldade que eles // tipo / ah / “vamos por essa linha de raciocínio aqui” / talvez eu extrapolava demais / talvez / mas eu acho que era uma primeira linha né / mas sei lá // acho que meus colegas a mesma coisa / muitas das vezes eu dava direção ou então colocava algo muito / ah sei lá / talvez muito mais rústico do que era necessário / e eles refinavam a resposta pro jeito que ficaria mais adequada / não sei / acho que foi mais nessa linha / eu dava o primeiro passo e eles lapidavam muito mais do que eu

Como dito por Samuel, ele sempre tinha uma ideia para a resolução da questão, que na maior parte das vezes, vinha do seu repertório de conhecimento construído previamente. Isso ajudava o grupo a desenvolver reflexões e novas ideias a partir do que ele apresentava, o que é confirmado na fala de Natan sobre o colega:

Quadro 76 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 4
Natan: O Samuel sempre sabia as coisas / então ele meio que dava a luz pra gente

Mas como o próprio Samuel reconhece na sua fala, muitas vezes suas explicações estavam em um nível mais complexo do que era esperado pela disciplina. Os colegas que ainda não haviam estudado determinados assuntos no curso de Física não conseguiam acompanhar e compreender tais explicações, principalmente quando envolviam muito formalismo matemático.

Ao longo das aulas e nos episódios analisados nas sessões 6.2.4.4. e 6.2.4.5. deste trabalho, é possível perceber que Samuel considera a matemática uma ferramenta indispensável na resolução de problemas em física e, por isso, muitas vezes sente dificuldade em cumprir a regra da Atividade de propor respostas apenas conceituais para as questões. Os colegas constantemente precisam lembrá-lo do cumprimento desta regra, como Lucas cita no trecho a seguir.

Quadro 77 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 10
Lucas: O Samuel / por ele já estar muito mais avançado que a gente no curso / eu acho que tem muito mais o negócio de analisar a fórmula e entender em cima da fórmula sobre isso / e isso às vezes não era a coisa / porque é uma física conceitual / a gente não tá analisando fórmulas / então às vezes eu tinha que falar “calma” / “vamos pegar só o conceito aqui”

7.3. Discussão acerca da divisão do trabalho na disciplina Física Conceitual

Na proposta metodológica da disciplina Física Conceitual, algumas regras tratavam e influenciavam diretamente a divisão de tarefas nos grupos, como a que estabelecia que a cada aula um integrante do grupo deveria assumir a função de redator das respostas, havendo um rodízio dessa função. Observamos no trabalho do Grupo 1 e também no relato de vários estudantes que cursaram a disciplina que é necessário haver uma reflexão sobre essa regra por parte de professores que venham a adotar e reproduzir a proposta metodológica da disciplina Física Conceitual. Isso porque quando um estudante assume a função de redator em uma aula, sua participação na discussão fica prejudicada e, conseqüentemente, sua aprendizagem sobre os temas discutidos fica comprometida.

Os próprios estudantes consideram que é de suma importância que todos os integrantes do grupo tenham condições de participar ativamente das discussões, e isso leva alguns grupos a não seguirem a regra proposta pelo professor, compartilhando a função de redator.

Entendemos que a regra proposta surge de uma preocupação de que todos os estudantes assumam a responsabilidade de redigir as respostas para as questões, evitando que sobrecarregue um único integrante do grupo, ou que algum membro venha a utilizar esse papel como forma de esquivar-se das discussões. Mas visto o impacto negativo que essa regra pode gerar nos grupos, acreditamos que ela deve ser redefinida, talvez estabelecendo o rodízio da função de redator dentro de uma mesma aula, como fizeram os Grupos 2 e 3.

O conhecimento prévio sobre os temas tratados e o nível do domínio dos artefatos mediadores faziam com que os estudantes tivessem diferentes participações em diferentes momentos durante as aulas, fazendo com que poderes e autoridades alternassem constantemente. A partir dos relatos dos estudantes, concluímos que a dinamicidade na divisão do trabalho ao alternarem papéis e status permitem aos estudantes complementar suas funções e suprir as necessidades do grupo durante a Atividade, os levando a resultados desejados, como a produção de explicações para as questões conceituais e a aprendizagem de física.

Também entendemos que as características individuais dos sujeitos e suas particularidades influenciam nos papéis desempenhados por eles na divisão do trabalho.

Um ponto a destacar é a autonomia que os estudantes apresentaram na organização de modos de trabalho dos grupos, adaptando regras propostas pelo professor às suas necessidades. O professor, por sua vez, acolheu e estimulou este comportamento, contribuindo assim para um bom andamento dos trabalhos.

8. EXPECTATIVAS E VIVÊNCIAS DOS DIFERENTES SUJEITOS DURANTE O CURSO DE FÍSICA CONCEITUAL – UMA EXPERIÊNCIA

No contexto de uma prática educativa, como a que constitui o ambiente de aprendizagem da disciplina Física Conceitual, as relações entre os elementos do diagrama de um Sistema de Atividade proposto por Engeström (Figura 2), podem ser compreendidas em termos da formação do ser, de produção e compartilhamento de conhecimento (PONTELO, 2009), como mostrado na Figura 41.

Segundo Moreira et al. (2011), isso se refere à noção de experiência. O processo de mediação entre sujeito e objeto é a experiência constitutiva de ambos.

Figura 41: Representação do Sistemas de Atividade (ENGESTRÖM, 2001) adaptado por Pontelo (2009).



Quando ajustamos nossa lente de análise para uma análise macro, podemos considerar a disciplina Física Conceitual como nossa unidade de análise, ou seja, a própria Atividade, direcionada à aprendizagem de conceitos de física contextualizados no cotidiano dos estudantes, seu objeto. Nessa experiência, sujeitos (professor e estudantes) e objeto modificam-se reciprocamente.

Para aprofundarmos nosso entendimento sobre os propósitos, potencialidades e limitações da disciplina Física Conceitual, consideramos importante investigar como se relacionam os sentidos dessa experiência de formação do ponto de vista dos

estudantes com os sentidos pretendidos pelo professor e ainda com o significado da Atividade.

O significado de uma Atividade pode ser compreendido como expressão do conteúdo, da articulação das ações que constituem a Atividade e dos objetivos explícitos dessas ações (MOREIRA et al., 2011). Durante a Atividade, os sujeitos realizam ações, conscientes de seus objetivos, se apropriando de alguma forma de seu significado. Entretanto, o sentido que o sujeito atribui à Atividade está relacionado às necessidades que o movem em direção ao objeto, as quais envolvem expectativas pessoais. Assim, diferentes sujeitos podem atribuir diferentes sentidos a uma mesma Atividade.

Os objetivos das ações propostas na disciplina Física Conceitual expressam seu significado: rever e aprofundar conceitos básicos de física aplicados em situações contextualizadas no cotidiano, oportunizando sua aprendizagem por meio de trabalho colaborativo e consulta a artefatos mediadores. Veremos adiante se os estudantes compartilham desse significado ao atribuírem sentidos pessoais à Atividade.

Os estudantes e o professor foram então convidados a falarem em entrevista de suas impressões sobre a experiência vivida.

8.1. Oferta da disciplina Física Conceitual pelo professor e a adesão dos estudantes – Motivações iniciais

Em entrevista, o professor relata seu primeiro contato com a disciplina Física Conceitual ao procurar por salas de aula que permitissem um maior protagonismo dos estudantes, objeto de interesse de sua pesquisa de doutorado.

Inserido no contexto do departamento de Física de uma universidade federal, ele se interessou por pesquisar a sala de aula de duas disciplinas do curso de Física, intituladas Física Conceitual I e II, principalmente porque utilizavam o trabalho em grupo como ferramenta metodológica importante, o que permitia aos estudantes serem sujeitos ativos no processo de ensino-aprendizagem. Também chamou sua atenção a boa avaliação das disciplinas feitas por estudantes que as haviam cursado, e as ricas discussões que surgiam nos grupos.

A proposta dessas duas disciplinas é relatada no artigo “Ensinando Física Conceitual – Uma experiência em um curso de licenciatura em Física” de Moreira (2020), docente que as idealizou. A metodologia de ensino e o livro-texto adotados

por Moreira, e o banco de questões que construiu são as grandes inspirações da disciplina Física Conceitual investigada neste trabalho.

O professor considera ter aprendido muito sobre física enquanto esteve imerso no ambiente de sua pesquisa, além de ter se apaixonado por esse tipo de ambiente de aprendizagem. Ao terminar sua pesquisa de doutorado, levou a ideia da disciplina para a universidade em que leciona atualmente.

No curso de licenciatura em Física em que é professor, ele critica o fato de haver um foco maior no conteúdo e formalismo da física e menor nas práticas de ensino de física. Isso se reflete no quadro de professores do curso, em que ele é o único com formação na área de educação dentre os seis professores que compõem o corpo docente. Por ser o único com formação e interesse na área, ele é responsável por lecionar as disciplinas de práticas de ensino, o que preenche toda a sua carga horária. Assim, por mais que sua experiência durante o doutorado tenha despertado o desejo de ofertar uma disciplina de física conceitual inspirada na sala de aula pesquisada, ele se depara com o problema de indisponibilidade de tempo para isso.

Com a pandemia da COVID-19, a universidade em que leciona decidiu implementar um período especial de aulas remotas para que os estudantes pudessem continuar seus estudos durante o distanciamento social. Nesse período, poderiam ser ofertadas disciplinas diferentes daquelas que compõem a grade curricular do curso de Física, e o professor viu isso como uma grande oportunidade de oferecer a disciplina Física Conceitual, disponibilizando 16 vagas. Sobre essa decisão, ele comenta no trecho a seguir:

Quadro 78 – Entrevista com o Professor: Trecho 2

Professor: E eram dois grandes desafios / o primeiro de trabalhar online / porque eu nunca tinha feito isso / outro trabalhar Física Conceitual porque eu nunca tinha dado / as perguntas de física conceitual são perguntas perigosas né / e muitas delas às vezes não tem resposta única / a gente pode achar que a resposta é trivial / que tem algumas nuances que não são / então de certa forma você se expõe um pouco enquanto professor ao fazer uma pergunta / e são perguntas difíceis né / um pouco mais abertas que o natural né / não são fáceis / a gente olha ali e fala ah física conceitual é uma coisa inferior a uma física sei lá / de contas e manipulação algébrica / mas não // então é claro que eu fui com um receio desse / de não posso vacilar na física / mas essa preocupação foi menor / mas é claro que quando a gente vira o professor um tiquinho de preocupação passa na cabeça

O professor comenta sobre o ensino remoto emergencial ser um desafio, já que até então não tinha a experiência de lecionar à distância. Essa era a realidade de

grande parte dos professores de todos os níveis de ensino no início do período pandêmico, o que exigiu que reinventassem a prática docente. Apesar de desafiador, foi um período enriquecedor no contexto educacional, ampliando o uso das tecnologias digitais, que podem ser grandes aliados no processo de ensino-aprendizagem. Para o professor, o período especial ofertado na universidade foi um teste em que os professores puderam verificar a capacidade de lecionarem remotamente, e considera que, no caso aqui relatado, obtiveram sucesso nesse teste.

Um outro desafio que identificou na oferta da disciplina Física Conceitual era a falta de experiência em lecionar tal disciplina, que tem suas particularidades. Uma delas são as questões, que apesar de serem questões que abordam os conteúdos de física, fazem isso de maneira não muito convencional ao trazerem aspectos da vida cotidiana. Isso as torna questões mais complexas, pois envolvem diferentes variáveis que muitas vezes não são levadas em conta em questões que consideram as situações ideais e não reais. Também faz com que possam ser utilizadas múltiplas estratégias na busca por sua solução, não existindo um caminho padrão para tal. O professor parece sentir que essa particularidade das questões o coloca em uma situação de vulnerabilidade, pois elas exigem além do domínio do conteúdo científico.

As 16 vagas ofertadas para a disciplina Física Conceitual poderiam ser preenchidas por qualquer estudante matriculado no curso de licenciatura em Física, independente do período que estivesse cursando. Por isso, despertou o interesse de muitos calouros, que haviam acabado de ingressar na universidade e não poderiam cursar outras disciplinas que exigiam pré-requisitos, como relataram alguns estudantes ao serem perguntados sobre o porquê se matricularam na disciplina:

Quadro 79 – Entrevista com o estudante Caio: Trecho 2
Caio: Então / como tava ocorrendo a quarentena eu fiquei muito tempo / um período de hiato muito longo / e eu quando ouvi esse período especial / como sou calouro / ainda sou muito novo com essas coisas / ainda tô aprendendo / ainda ouvi que / pensei em pegar cálculo nesse período / só que não tinha cálculo 1 e a maioria das disciplinas tinham pré-requisitos / até que eu recebi um e-mail do Professor oferecendo essa disciplina / uma das poucas que não tinham pré-requisito / aí eu pensei bom / eu não tenho nada a perder / então caí de cabeça na disciplina / acabei gostando bastante

Quadro 80 – Entrevista com o estudante Pedro: Trecho 2
Pedro: Acho que o que mais me levou a matricular foi o fato de estar / por causa da quarentena / falei ah / pelo que falaram parecia ser uma disciplina boa pra quem tá começando já que ia

abordar vários tópicos da física / eu imaginei que não fosse tão complicado quanto uma matéria digamos normal na grade / sem a quarentena / aí decidi fazer

Para Caio, Pedro e alguns outros estudantes o motivo inicial que os levaram a participar da Atividade era bem distante do motivo da própria Atividade, tal como proposta pelo professor. Enquanto o professor considera a oferta no bojo a uma crítica ao modo como a física é ensinada, com ênfase excessiva no formalismo e na resolução de exercícios numéricos, para os estudantes a oferta se apresenta como uma oportunidade de retomada de estudos em meio à pandemia. Além disso, entre os motivos da ação do professor está um posicionamento, também crítico, ao formato vigente dos cursos de licenciatura em sua instituição, fazendo eco a apelos da pesquisa em formação de professores que demandam por renovação nos conteúdos e metodologias de ensino na formação científica dos licenciandos, de modo a enriquecer vivências e repertórios dos estudantes sobre práticas docentes. Os estudantes, no início da oferta da disciplina e ao final dela, não mencionam e provavelmente desconhecem essas discussões no campo da formação de professores. Suas motivações são outras. Referindo-se à fase de matrícula, a fala de Caio na entrevista é clara: “não tenho nada a perder”, uma vez que a disciplina não apresentava pré-requisitos. Do mesmo modo, Pedro imagina que, sendo uma disciplina de física geral, com conteúdos abrangentes, não apresentaria dificuldades de compreensão, mesmo em regime remoto.

Apesar desta diferença no sentido da oferta para os estudantes e o significado desta no contexto do ensino de física e formação de professores, percebemos que à medida em que os estudantes vão realizando ações, conscientes de seus objetivos, vão também se apropriando do significado da Atividade, fazendo com que seus motivos se aproximem dos motivos do professor – possibilitar a vivência de um novo modo de ensinar e aprender física. Deste modo, como vimos nos episódios e como veremos nas reflexões nas entrevistas, quanto mais os estudantes assumem o motivo da Atividade, maior é o engajamento e a autonomia conferidos (MOREIRA et al., 2011).

Voltando ao cenário da oferta da disciplina, 10 vagas foram preenchidas por calouros e as outras 6 por estudantes que estavam entre o 2º e o 7º período do curso.

O Professor justifica o motivo de ter ofertado a disciplina para os estudantes de todos os períodos no seguinte trecho:

Quadro 81 – Entrevista com o Professor: Trecho 3

Professor: Porque um outro problema que eu tinha também / que eu já tinha tentado oferecer Física Conceitual / falei ah azar / vou pegar minhas disciplinas tudo e quero dar Física Conceitual / tava acabando de voltar do doutorado / cheio das coisas na cabeça / falei quero dar essa disciplina / quero dar / aí eu abri ela para o final do curso / só que eu tive um inscrito / aí eu falei poxa / um inscrito não fica legal né / como que eu vou fazer uma disciplina que é em grupo com uma pessoa (?) duas eu ainda pensaria / mas acho que tinha que ser pelo menos umas três né / pra dar conversa e tal né (...) e fiquei decepcionado com aquilo / mas depois eu fui conversar com os alunos e falaram ô Professor / eu queria fazer sua disciplina / mas já tô com todos os créditos e são disciplinas pesadas / aí eu falei bom / eu acho que no final do curso vai ser realmente muito difícil eu conseguir oferecer isso / aí alguns colegas falaram pô / mas isso ia ser bom demais no início do curso / e eu falei é / mas é uma outra pegada / eu não tô querendo / como que eu posso falar / eu não tô querendo iniciar a conversa de Física com esses meninos / eu tô querendo aprimorar a conversa / é outra pegada né // inclusive quando fui oferecer no período especial e deixei aberto para os dois públicos eu fiquei num medo danado / falei assim poxa / como eu vou fazer com o menino que tá entrando na faculdade agora e o que tá saindo da faculdade / os conhecimentos devem ser muito diferentes / e pra minha grande surpresa eu não senti tanto isso durante o curso / não senti de forma alguma / os problemas não foram mais desafiadores para uns que pra outros / eu acho que os problemas que selecionamos foram desafiadores para os dois públicos né / embora obviamente / e mesmo que eu fizesse só no início / você teria discrepância entre eles né / mas foi muito produtivo

A disciplina Física Conceitual foi pensada para estudantes de licenciatura em Física que já estivessem na parte final do curso, ou seja, já tivessem cursado as disciplinas básicas. A justificativa para tal é que, deste modo, os estudantes estariam aptos a desenvolver explicações a fenômenos e processos com base em uma forma de raciocínio que os permitissem descrever e explicar um fenômeno sem o uso de formalismo matemático, já que tal raciocínio é pouco presente na maioria das disciplinas básicas e é fundamental para a prática docente de futuros professores do Ensino Médio.

Mas como relatado pelo Professor, os estudantes do final do curso em que leciona não têm disponibilidade de tempo para cursar disciplinas além daquelas obrigatórias da grade curricular, ficando impossibilitados de cursarem Física Conceitual. Uma alternativa proposta pelos colegas docentes foi a oferta da disciplina para o início do curso, mas na opinião do Professor muitos ajustes teriam que ser feitos, mudando a proposta da disciplina, e não insistiu na ideia, pois já tinha a carga

horária preenchida e precisaria aumentá-la ainda mais para ofertar uma nova disciplina.

Com a oportunidade de ofertar Física Conceitual no período especial de ensino remoto, o Professor decide deixar em aberto para que estudantes de todos os períodos pudessem se matricular, apesar do receio de que as diferenças de conhecimento entre os estudantes pudessem impossibilitar as discussões e o trabalho em grupo. Na visão do Professor as questões desafiaram a todos igualmente, mas nas falas dos estudantes é possível perceber que aqueles que acabaram de sair do Ensino Médio da rede pública e consideram ter uma base fraca de conhecimento em física acabaram enfrentando mais dificuldades. Apesar disso, avaliamos que foi possível que todos avançassem nos seus conhecimentos a partir do ponto em que estavam.

Depois da experiência vivida, em que maioria dos estudantes matriculados eram calouros, o Professor tem uma nova visão sobre ofertar Física Conceitual para o início do curso:

Quadro 82 – Entrevista com o Professor: Trecho 4

Professor: Então assim / eu tive muito receio ao abrir pro início do curso e fui muito resistente a isso também / embora os professores / meus colegas / eles falem que precisamos colocar física conceitual porque os meninos entram aqui no curso de física e só vão ter física no 2º período / então eles entram no curso de física e não tem física / então eles falam cara / essa é a física do primeiro período / acho que eles esperam de certa forma um nivelamento / um reforço / entendeu (?) da física conceitual / que é outra pegada né / dá pra fazer / acredito que sim / hoje com a experiência que eu tive dessa física ali eu toparia muito colocar uma física conceitual no início do curso / acho que ajudaria muito a fortalecer e de certa forma equilibrar né / dar um equilíbrio / uma melhoria mesmo na base de física de todos e prepará-los né pras físicas que vem logo a seguir / eu acho que seria muito bom fazer isso / lá atrás eu não achava / depois da disciplina eu acho que sim / deveríamos fazer // eu achei que ia ter que ser tão básico / tão básico / que nem valeria tanto a pena na minha opinião / porque seria muito básico pra uns / e pra outros não seria legal / como é que eu ponho alguém pra discutir sobre um assunto que o cara não sabe falar sobre (?) então vai valer a pena (?) vai ser bom (?) eu vi que sim / é só fazer boas escolhas / e isso foi uma coisa que veio depois dessa física conceitual // só que aí eu esbarro no outro problema / eu não tenho carga horária pra fazer isso / a gente precisa de mais professores

O Professor passa a considerar que a diferença de conhecimento dos estudantes quando ingressam no curso de Física não seria um impedimento para a realização de um bom trabalho na disciplina Física Conceitual. Acreditamos que os recursos mediacionais disponibilizados na disciplina, e a combinação da leitura prévia

do livro-texto com discussão em grupo que permitem que um estudante com menos conhecimento em física também seja capaz de contribuir para a solução das questões conceituais propostas e participar de discussões com estudantes com bases mais sólidas.

Uma outra motivação para ofertar a disciplina para calouros é o fato de não haver disciplinas teóricas de física na grade curricular do 1º período do curso. O desejo e a expectativa de ter contato com os conteúdos de física já no 1º período foi inclusive uma motivação para alguns estudantes se matricularem na disciplina Física Conceitual, como relatam nos trechos a seguir.

Quadro 83 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 7

Alice: É porque assim / quando eu entrei na faculdade eu vi a grade e eu vi que a gente não tinha física no primeiro período / tinha só laboratório de física / aí eu falei nossa primeiro período e eu não vou ter contato com a física / aí eu fiquei um pouquinho triste / mas acabou tendo esses problemas da quarentena e eles estavam ofertando essa matéria de física conceitual / aí eu falei / por que não né (?) porque geralmente na escola a gente vê mais a parte matemática e só colocam algumas fórmulas e não explicam muito bem alguns conceitos // então eu achei que podia ser bem interessante essa área

Quadro 84 – Entrevista com o estudante Rodrigo: Trecho 3

Rodrigo: No primeiro semestre de física para alunos de física não tem física, então isso já foi uma coisa interessante / aprender alguma coisa de física / e o plano de ensino da disciplina é muito interessante / então também pra me manter ocupado e o estudo de física seria uma forma bem interessante pra isso poder acontecer

Além da oportunidade de ter contato com conteúdos de física já no primeiro semestre do curso, outro fator que chamou a atenção de Rodrigo foi o plano de ensino da disciplina, que explicitava a ementa da disciplina, objetivos, conteúdos a serem abordados, recursos que seriam utilizados e metodologia das aulas. Foi a ementa do curso e a possibilidade de pensar e discutir sobre física que também motivaram os estudantes Samuel e Fernando a se matricularem na disciplina:

Quadro 85 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 6

Samuel: É / bom / eu tinha interesse em me matricular nessa disciplina desde o ano passado quando surgiu um boato de que ia ter ela no segundo semestre de 2019 / eu e alguns amigos meus que não fizeram ela agora / pela ementa do curso que a gente tinha lido / sabia que ia ser algo mais ou menos nesse sentido de discutir física / aplicar física no dia a dia / e eu sempre me interessei por isso / por essa aplicação // por mais que eu não seja uma pessoa muito prática / de gostar de laboratório / experimento / eu gosto muito de discutir física nesse nível conceitual / que

é pegar a teoria e não tanto se amarrar à matemática / mas fazer essa discussão teórica com um nível mais elevado né / digamos assim / e dessa vez teve né com o Professor

Quadro 86 – Entrevista com o estudante Fernando: Trecho 2

Fernando: Eu preferi fazer Física Conceitual por ser física mesmo / eu gostei também porque conceitual eu pensei que não teria tanto cálculo / tanta coisa / que seria mais uma questão mais de pensar sobre a física mesmo e eu gosto bastante dessa parte

Nas falas de Samuel e Fernando fica evidente uma necessidade que muitos estudantes de Física sentem: a necessidade de espaços de discussão de física para além de resolução de problemas utilizando fórmulas e substituindo números. Em muitas disciplinas do curso de Física há uma grande preocupação com a resolução de problemas, mas pouca atenção é dada aos conceitos físicos envolvidos nos fenômenos estudados. E se torna comum estudantes saberem resolver problemas utilizando ferramentas matemáticas, sem conseguir explicar a ocorrência dos fenômenos. A disciplina Física Conceitual pode ser uma forma de suprir essa lacuna, os estudantes reconhecem isso, e o Professor defende sua necessidade por a considerar fundamental no curso de Física:

Quadro 87 – Entrevista com o Professor: Trecho 5

Professor: Olha / assim / é nítido que tanto para o final do curso quanto para o início a lacuna abismal que existe / o abismo mesmo ali na formação conceitual desses meninos // se você entrar em uma sala de aula / você vai saber que é uma aula de física / porque os exemplos são os mesmos / o jeito de falar é a mesma coisa / e não que seja errado / eu não tô criticando / mas a gente entende que o ensino de física tomou um rumo e a parte conceitual e análise de problemas diferentes ou problemas mais ligados à vida cotidiana ela se tornou muito marginal e por vezes desaparece do curso / eu acho isso uma baita de uma lacuna / em especial o que eu bato direto são os cursos de licenciatura / será que não é isso que interessa (?) será que não é essa formação que deveria ser o foco (?) não sei // eu fico assim muito incomodado com o nível de tratamento matemático que as coisas recebem / que são importantes / a matemática / não tô abolindo a matemática / mas eu acho que nós estamos fazendo escolhas erradas / essa é a minha opinião enquanto professor do curso de licenciatura / acho que as escolhas são feitas / aqui na minha universidade pelo menos / são erradas / e eu acho que / ah / física 1 / não tô criticando a física 1 / não tô criticando a física 2 / mas eu acho que o professor de física 1 ele deveria inserir mais momentos de discussões / deveria envolver mais momentos com questões de pense sobre isso / do que questões mecânicas / que são importantes / não tô dizendo / o legal seria fazer as duas coisas né / agora / temos tempo pra fazer as duas coisas (?) se a resposta for não precisamos fazer escolhas / quais escolhas vamos fazer (?) tentar pelo menos chegar em um meio termo com relação a isso tá (?) então a física conceitual ela pra mim não é

importante não / ela é essencial num curso de física e não é opinião só minha / é opinião de quem faz o curso / que eu acho que é a mais importante / de quem faz / vai na minha turma e pergunta “o que você achou de física conceitual” (?) é unânime / por que (?) esses caras tão dando um baita de um valor nessa disciplina / porque eles sentem também que existe uma lacuna / existe uma falha aí / uma falta nesse curso de física né / na formação de professores (...) mas aí assim / a física conceitual pra mim ela é fundamental / tinha que ter / agora / ela deveria ser uma disciplina separada das outras (?) essa é uma grande pergunta / que isso eu não sei te responder // é possível a gente colocar a física conceitual / os preceitos da física conceitual dentro das físicas básicas (?) esse é um desafio legal / é um desafio interessante / aí vem minha grande pergunta / precisa ter uma disciplina de física conceitual ou poderíamos diluir a física conceitual nas físicas que nós temos (?) mas para as duas formas eu acho fundamental que ela exista né / e a forma de trabalho também / parar com cadeirinha uma atrás da outra e botar esse pessoal pra trabalhar na sala de aula né / atividade mesmo na sala de aula

No trecho 4 da entrevista com o professor, ele relata o incômodo com o excessivo enfoque matemático dado nas disciplinas do curso de Física, que acaba por excluir a discussão conceitual dos conteúdos trabalhados em sala de aula, deixando uma lacuna no conhecimento dos futuros professores de Física.

Ele reconhece a importância do formalismo matemático para a formação de um professor de física, que é o que possibilita realizar análises relevantes para um entendimento mais profundo dos conteúdos. Mas os licenciandos se tornarão professores de física do Ensino Médio, onde não utilizarão as ferramentas matemáticas mais complexas tão trabalhadas durante a graduação, e precisarão de um sólido conhecimento conceitual de física, que por muitas vezes não é abordado durante sua formação.

O professor tem a convicção de que é necessário incluir mais discussões conceituais e contextualizadas no curso de licenciatura em Física. E levanta a reflexão de como fazer isso, se é necessário um espaço próprio para isso ou se é possível incluir essas discussões nas disciplinas que já compõem a grade curricular do curso. De qualquer forma, o conhecimento conceitual de física é fundamental para a formação de futuros professores que terão a responsabilidade de um ensino voltado para a formação cidadã pautada na ciência, que permite a tomada de decisões responsáveis na sociedade.

Por fim, é possível inferir da fala do professor uma crítica ao método expositivo de ensino, caracterizado pela autoridade do professor e passividade dos estudantes. Ele então defende a configuração da sala de aula e a metodologia adotada na

disciplina Física Conceitual, que permite um maior protagonismo dos estudantes na construção do conhecimento.

O ensino expositivo é tão empregado no ensino, principalmente na área de exatas, que a metodologia da disciplina Física Conceitual surpreendeu positivamente alguns estudantes que esperavam encontrar durante as aulas uma metodologia tradicional. Natan, Rodrigo e Paulo relatam isso nos trechos abaixo.

Quadro 88 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 5
--

Natan: Assim / a disciplina até me surpreendeu / eu sei lá / eu achei que ia chegar lá assistir uma aula / depois estudar um pouco e chegar e fazer a prova/ sempre foi muito mais puxado pra isso
--

Quadro 89 – Entrevista com o estudante Rodrigo: Trecho 4
--

Rodrigo: A única coisa que eu esperava diferente e quando eu me surpreendi foi uma boa surpresa foi que seria aulas mesmo / que seria o Professor falando e a gente anotando / e foi uma surpresa boa ver que o método foi completamente diferente // e é uma coisa bem interessante / é uma coisa que combina muito com a minha visão da física
--

Quadro 90 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 5
--

Paulo: Assim / eu não tinha certeza sobre como seria / eu sabia que ia ter vários conteúdos / mas eu não tinha pegado pra ver o livro ainda / então eu achava que ia ser uma aula normal / o professor falando lá / e aí eu ia ver e anotar alguma coisa / e aí ia fazer uma prova / enfim // só que essa expectativa foi / é porque a gente já tá até acostumado com esse mecanismo de aprendizagem que às vezes não é nem tão eficiente assim dependendo / mas aí quebrou completamente a expectativa essa nova metodologia e apesar de / eu acho que ela é trabalhosa / porque acaba que às vezes envolve muito tempo / mas ela te agrega mais pra aprender e te incentiva também a aprender sozinho né / porque a gente acaba lendo as coisas / o livro pra fazer as discussões

Em suas falas, Rodrigo e Paulo iniciam uma breve avaliação da metodologia adotada na disciplina Física Conceitual, considerando-a interessante e agregadora para a aprendizagem. Na próxima seção, veremos com mais detalhes como os estudantes avaliam essa metodologia.

8.2. Metodologia de ensino adotada no curso - Visões de licenciandos em Física

A metodologia adotada na disciplina Física Conceitual se baseia no trabalho em grupo para resolução de questões propostas pelo professor, antecedido pela leitura do capítulo do livro-texto indicado para cada aula. Esta não é uma metodologia

comumente adotada em cursos de exatas em todos os níveis de ensino, e isso foi confirmado pelo relato de todos os estudantes entrevistados, que negaram ter tido experiências educacionais em física que adotassem tal metodologia ou alguma similar.

É uma metodologia que exige alta participação dos estudantes, que têm que ficar mentalmente ativos durante a aula, e propicia um ambiente de ensino colaborativo, com bastante interação. Os próprios estudantes sentem que são protagonistas do processo de construção do conhecimento nas aulas. Os estudantes Natan e Paulo comentam sobre isso nos trechos a seguir.

Quadro 91 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 6
Natan: A metodologia é diferente / só que é muito melhor / porque sei lá / eu já fiz física 1 / eu acho que eu aprendi muito mais na física conceitual do que em física 1 / na parte de teoria é claro / porque por exemplo / física 1 que o professor chega e passa a matéria / você meio que não tem / eu não sei como eu posso dizer / engajamento / você não fica tão engajado em chegar lá e o professor vai passar a matéria pra você / tem hora que você boia na aula / ali não tinha como você boiar / porque tava todo mundo fazendo

Quadro 92 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 6
Paulo: Uma coisa que no início eu senti falta foi a questão de o professor às vezes passar o conteúdo / mas aí eu peguei o jeito porque eu aprendi que é bom você estudar sozinho também / e depois pegar e desenvolver esse conteúdo em cima / e a expectativa de conseguir ir bem acabava aumentando / porque tipo / então isso tá sobre mim / não tá só sobre o professor em passar a matéria / a questão de às vezes / muitas vezes os alunos reclamam da questão do professor não dar a matéria direito / ou qualquer coisa assim / mas essa dinâmica eu achei legal porque tipo / depende muito mais de você do que do professor

Em sua fala, Natan compara a metodologia adotada em Física Conceitual com a metodologia tradicional de uma disciplina básica do curso, a considerando mais eficaz para a aprendizagem justamente porque exige uma presença e atividade mental durante todo o momento da aula.

Paulo relata ter inicialmente sentido falta da exposição do conteúdo pelo professor, o que também foi sentido por outros estudantes que haviam acabado de sair do Ensino Médio e, certamente, estavam acostumados a serem passivos em sala de aula. Mas durante a experiência vivida, Paulo passou a se sentir responsável pelo seu próprio desenvolvimento, o que é colocado como responsabilidade do professor em salas de aula tradicionais que adotam o método de ensino expositivo.

Os estudantes entrevistados foram perguntados sobre como avaliavam a metodologia adotada na disciplina Física Conceitual. A maioria dos estudantes destacou o trabalho em grupo em suas percepções e avaliações, como exemplo trazemos os trechos abaixo:

Quadro 93 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 11
Lucas: Eu acho assim / a princípio duas cabeças pensam melhor que uma / então quatro / que era a quantidade de pessoas no nosso grupo / fica incrível / eu acho que é muito mais fácil você aprender quando tem outras pessoas ali com você tentando ir / sabe (?) então tipo assim / essa metodologia é boa nesse sentido / eu acho que ela é boa de você ter inspiração das outras pessoas / achei muito boa nesse quesito

Quadro 94 – Entrevista com o estudante Caio: Trecho 3
Caio: Eu acho que a metodologia é muito interessante justamente porque ela provoca na gente um dos pilares da ciência que é justamente o debate / o debate democrático sobre um determinado assunto / e a gente observa diferentes pontos de vista acerca de determinado assunto / permite com que a gente veja como uma pessoa interpreta um determinado problema / uma maneira diferente / por mais que seja uma ciência exata

Quadro 95 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 7
Samuel: Eu gostei da metodologia o jeito que foi / acho que dá pra aprender bem com outras pessoas / porque você percebe falhas no seu raciocínio / às vezes o cara não tem a resposta / mas ele te aponta a falha daquilo que você tá pensando né / e isso é algo muito interessante // eu acho que ganha-se muito em comparação com a aula expositiva / porque na aula expositiva / eu tenho certeza que essa disciplina não tem como ser dada de forma expositiva porque eu acho que ela perderia muito potencial / e eu acho que na aula expositiva você perde um pouco da magia né / de chegar uma pessoa e dar a resposta / enquanto sendo feito dessa forma em pequenos grupos acho que tem muito mais / é muito mais interessante pra quem aprende

Lucas considera o trabalho em grupo como um facilitador para a aprendizagem, e as falas de Caio e Samuel indicam que os colegas compartilham desse pensamento.

Caio destaca que o trabalho em grupo promove o debate com colegas, o que permite o compartilhamento de diferentes pensamentos e ideias a respeito de um determinado assunto. Esse compartilhamento de ideias é muito rico, porque como menciona Samuel, ouvir diferentes ideias pode contribuir para o aperfeiçoamento do seu próprio pensamento.

Mais uma vez a metodologia adotada na disciplina Física Conceitual é comparada com o método tradicional expositivo, agora na fala de Samuel. E

novamente é avaliada como mais interessante e eficaz do ponto de vista do estudante, que é o sujeito principal do processo de ensino-aprendizagem.

O trabalho em grupo também é visto por alguns estudantes como um fator importante na formação de profissionais que brevemente serão inseridos no mercado de trabalho (Quadros 96 e 97). Ele permite o desenvolvimento de habilidades que são muito valorizadas nos ambientes de trabalho, como por exemplo proatividade, boa comunicação, empatia, flexibilidade e confiança. E apesar de essenciais para a vida adulta, essas habilidades raramente são ensinadas e trabalhadas nas escolas, como comenta a estudante Alice:

Quadro 96 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 8
Alice: Eu acho que essa metodologia é bem mais eficiente do que você trabalhar somente sozinho / em pessoal / porque eu acredito que futuramente na área de trabalho você vai precisar consultar outras pessoas pra você ter certeza daquilo que você tá estudando sabe (?) e eu acho muito importante trabalhar isso / porque tem muitas pessoas que não conseguem dialogar muito bem e aí não abordam isso tanto nas escolas quanto nas universidades eu acho / então eu achei interessante a gente trabalhar em grupo porque quando alguém tinha alguma dúvida o outro tentava explicar e a gente tentava montar explicações juntos e trabalhar de uma forma que a gente conseguisse entregar algum resultado depois sabe (?) e eu acho bem mais confortável trabalhar assim do que sozinho / não ter um ponto de amparo / sabe (?)

Quadro 97 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 7
Paulo: Uma coisa boa / o fato de você estar trabalhando em grupo / te traz essa perspectiva às vezes até do mercado de trabalho / porque você vai aprender a trabalhar com outras pessoas que você não tinha visto antes / mas também eu acho a questão de / você trabalha com essas pessoas e também aprende a ajudar elas / a desenvolver um ambiente saudável

A partir das falas de Alice e Paulo podemos constatar que trabalhar em grupo tem algumas vantagens, como troca de conhecimentos e experiências, cooperação na dificuldade de um dos integrantes, otimização de processos de solução de problemas, promoção da empatia e respeito às diferenças e favorecimento da construção de um ambiente saudável.

A leitura prévia do livro-texto também é destacada pelo estudante Pedro como um ponto importante da metodologia da disciplina Física Conceitual, como mostra o trecho a seguir.

Quadro 98 – Entrevista com o estudante Pedro: Trecho 3
--

Pedro: Eu acho que é uma metodologia muito boa / porque na hora de chegar no momento da discussão em grupo já tendo lido previamente o livro / achei que todo mundo já tinha um conhecimento legal do assunto // achei um ótimo jeito pro próprio aluno ir explicando / porque a explicação é um ótimo jeito de aprender

Entendemos que é a leitura do livro que prepara o estudante para a discussão com o grupo, e permite que ideias sejam criadas para então serem compartilhadas e lapidadas. No momento de discussão, os estudantes precisam expor suas ideias de forma coerente e coesa para os colegas, e também dominar o assunto a ser discutido para que seja possível argumentar a favor de suas ideias. Assim, o processo de organização dos pensamentos e entendimento do conteúdo para o momento de discussão contribui muito para a aprendizagem, como destaca Pedro no final de sua fala.

8.3. Múltiplas perspectivas de aprendizagem oportunizadas pelo ambiente de aprendizagem da disciplina Física Conceitual e como contribuem para a formação de professores

A disciplina Física Conceitual tem como objetivo explícito e comunicado no Plano de Ensino oportunizar a aprendizagem de conceitos de física aplicados em situações contextualizadas no cotidiano. Mas entendemos que o ambiente ativo e colaborativo desta sala de aula permite emergir muitas outras perspectivas de aprendizagem.

O Professor compartilha desta visão da disciplina, como mostramos no trecho abaixo:

Quadro 99 – Entrevista com o Professor: Trecho 6

Professor: A Física Conceitual na minha opinião ajuda tanto na parte conceitual quanto na parte didática / você aprende muito mais do que Física / aprende física pra caramba / aprofunda pra caramba / revê pra caramba / mas você aprende muita didática / o exercício de escutar o outro / o exercício de argumentar / e isso é na minha opinião contribui tanto quanto a parte conceitual / e é o que me deixa mais pilhado e com mais vontade de replicar esse curso e melhorar

Para o Professor, o curso de Física Conceitual propicia além da aprendizagem de conteúdos de física, a aprendizagem didática de técnicas e práticas de ensino, muito importante para a futura atuação profissional dos licenciandos matriculados. Além de permitir o desenvolvimento de habilidades de escuta e argumentação.

Em seu trabalho como formador de futuros professores ele se preocupa muito em contribuir para que o conhecimento construído no âmbito científico da universidade seja transformado em objetos de ensino e aprendizagem que serão utilizados pelos futuros professores em sala de aula. Ele espera então que a experiência de aprendizagem na disciplina Física Conceitual tenha impacto sobre a prática docente dos futuros professores em formação, que eles utilizem a metodologia de ensino de resolução de questões conceituais e trabalho em grupo, a reconhecendo como potencializadora para o ensino de física. Sobre isso, ele comenta no trecho abaixo:

Quadro 100 – Entrevista com o Professor: Trecho 7

Professor: É / eu olho muito meus alunos / eu sempre olho pra eles como futuros professores / eu não olho pra eles como físicos / e a minha preocupação também por causa das disciplinas que eu dou é sempre essa transposição didática / eu tenho uma preocupação muito grande com isso // aí / isso é possível fazer no ensino médio (?) é possível fazer aquilo (?) vocês aprenderam (?) eu acho que sim // e eu tenho certeza absoluta que em uma aulinha ou outra / ou em várias / eles vão usar os conceitos de trabalho em grupo / de trabalhar com questões diferentes de física / eu acho que essa parte eles vão levar enquanto professores né // todos falam que vão usar né / eu quero ver usar e voltar e falar pra mim como foi

Confirmando o comentário do Professor no final de sua fala, ao serem perguntados se utilizariam elementos da metodologia da disciplina Física Conceitual em suas futuras aulas, todos os estudantes entrevistados responderam que sim.

O estudante Caio comenta que até mesmo já utilizou conceitos do livro-texto em uma aula particular para uma aluna do nono ano do Ensino Fundamental. Ele comenta que o tratamento conceitual da física é o ideal para esse público, pois ainda não dominam recursos matemáticos mais avançados que são aprendidos apenas no Ensino Médio.

Ao serem perguntados sobre as aprendizagens que tiveram ao longo do curso, Natan e Lucas citam, dentre outras, algumas que contribuirão para o futuro trabalho docente.

Natan alega ter aprendido a ter mais dúvidas (Quadro 101), ele parece querer dizer com isso que aprendeu a pensar e refletir sobre questões e problemas de física, como aqueles propostos nos questionários disponibilizados a cada aula. Ele considera que as perguntas feitas por estudantes do Ensino Médio se assemelham a essas questões conceituais, e assim, a aprendizagem oportunizada na disciplina Física Conceitual o prepara para a atuação docente.

Quadro 101 – Entrevista com o estudante Natan: Trecho 7

Natan: Acho que eu aprendi a ter mais dúvida / porque por exemplo / você sai de física 1 / física 1 você meio que vê conta / o professor chega lá e passa como que essa fórmula chegou até aqui / aí passa aquilo / acho que sei lá / se eu chegar numa sala de aula / aquelas perguntas dos questionários são perguntas que os alunos vão me fazer / eu acho que isso então ajuda / mesmo se ele me pergunta uma coisa e eu não sei / eu sei onde procurar / aí outro dia eu chego e respondo pra ele / acho que prepara o professor

Já Lucas, ao longo de sua fala (Quadro 102), cita que aprendeu que atividades prévias que preparam os estudantes para uma aula, como as adotadas na disciplina (leitura do livro-texto e questionário online sobre interpretação da leitura), são muito vantajosas. Ele diz então que pretende utilizar essa metodologia de ensino em suas futuras aulas.

Quadro 102 – Entrevista com o estudante Lucas: Trecho 12

Lucas: Eu aprendi bastante / não vou falar só do conteúdo / do conteúdo eu aprendi muito / mas o que eu posso dizer que eu aprendi bastante foi trabalhar em grupo / eu nunca tive esse problema de trabalhar em grupo / sempre gostei / mas quando você tá trabalhando em grupo remotamente / você tá à distância / então é algo mais complicado / mas aprendi bastante a trabalhar em grupo // a estudar mais para as aulas / isso é algo que não tenho muito hábito não vou mentir / e aprendi muito com isso // aprendi pra minha formação que atividades antes das aulas sobre a próxima aula é algo muito bom / é algo que com certeza vou aplicar bastante // e sobre o conteúdo / é sem dimensão o que eu aprendi / as curiosidades boas que eu adquiri né / tipo assim / o formato da matéria ajuda você como pessoa / eu não sei explicar / eu me sinto uma pessoa melhor depois de fazer Física Conceitual / parece uma loucura minha / mas eu sinto que eu sou uma pessoa melhor / vejo o mundo de uma maneira melhor agora

Lucas também destaca que além de conteúdos de física, aprendeu muito sobre como trabalhar em grupo, até mesmo em situações remotas como a da disciplina.

A aprendizagem sobre o trabalho em grupo e suas vantagens também foi ressaltada por Alice no trecho mostrado abaixo:

Quadro 103 – Entrevista com a estudante Alice: Trecho 9

Alice: Eu aprendi que discutir em grupo alguns conceitos de Física é bem melhor e que a gente pode aprender de formas muito inusitadas / aprender explicações que a gente nunca tinha visto / que a gente nunca tinha presenciado antes / achei interessante aprender alguns conceitos novos e como eles realmente funcionam / porque eu tinha um pensamento sobre isso / mas mudou completamente depois de poder observar e aumentou ainda mais a minha vontade de ser professora de física e como eu disse mudou também a minha visão sobre o mundo né / que agora eu consigo observar a física em cada cantinho / eu gostei bastante dessa experiência

Um ponto em comum interessante nas falas de Lucas e Alice mostradas acima é o relato de como cursar Física Conceitual mudou a forma que eles veem o mundo. Isso demonstra o quão impactante é essa disciplina na formação profissional e também pessoal desses estudantes.

Outras perspectivas de aprendizagem apontadas por Pedro e Samuel são argumentação e construção de explicações, escrita em linguagem científica, mas ao mesmo tempo acessível, modos de abordagem de problemas e estratégias de raciocínio em física:

Quadro 104 – Entrevista com o estudante Pedro: Trecho 4
Pedro: Eu considero que eu aprendi muito a capacidade de debater as ideias / acho que é a principal coisa que eu consegui desenvolver ao longo dessa disciplina / uma outra coisa além da discussão foi a escrita / que eu não sabia muito bem fazer uma boa resposta

Quadro 105 – Entrevista com o estudante Samuel: Trecho 8
Samuel: Bom / acho que aprendi capacidade de argumentar / raciocinar em grupo / discutir física em um nível conceitual / a simplificar os problemas / estratégias de resolução de problemas / primeiro você simplifica e extrai todos os elementos externos o máximo que você consegue e depois você começa a pensar em coisas que vão dificultar o seu raciocínio / e bom / acho que foi isso // tirando isso além das outras experiências / tipo / na parte de termodinâmica eu aprendi coisa pra caramba / que eu não tinha me atentado a pequenos detalhes antes / foi muito interessante

Assim como Samuel cita a aprendizagem de conteúdos em Termodinâmica, muitos estudantes apontam o que já era esperado como resultado dessa disciplina, uma grande aprendizagem em conceitos de física. Paulo enfatiza essa perspectiva de aprendizagem em seu comentário a seguir:

Quadro 106 – Entrevista com o estudante Paulo: Trecho 8
Paulo: O aprendizado normal em si eu achei muito forte / porque a gente aprender os conceitos dá um fundamento bom / o próprio aprendizado de conteúdos foi muito bom / a gente aprendeu bastante / a própria questão do aprendizado de física eu achei extremamente relevante porque a gente tem uma base melhor no geral pra quando a gente tiver aprendendo os outros conteúdos / quando a gente tiver aprendendo física 1 / ou no próprio laboratório de física já ajuda a gente bastante / então eu achei o conteúdo extremamente relevante pra gente

A partir dos relatos dos estudantes concluímos que a disciplina Física Conceitual favorece uma aprendizagem não só conceitual, mas também procedimental e atitudinal.

O trabalho com questões conceituais desafiadoras e contextualizadas possibilita a apropriação e significação de conceitos, linguagens e modos de pensar próprios da ciência, ao mesmo tempo que forma cidadãos capazes de pensar criticamente sobre questões sociais pautados em conhecimentos científicos.

O trabalho em grupo propicia o desenvolvimento de habilidades de argumentação e escuta, demandando dos estudantes um posicionamento frente a diferentes pontos de vista e ao mesmo tempo receptividade para ideias diferentes.

8.4. Discussão acerca da experiência proporcionada pela disciplina Física Conceitual

A disciplina Física Conceitual enquanto Atividade tem o significado objetivo de oportunizar a aprendizagem de conceitos de física aplicados em situações contextualizadas no cotidiano. Esse significado vai de encontro aos sentidos pretendidos pelo professor, de oferecer uma formação conceitual que permita aos licenciandos descrever e explicar fenômenos físicos sem o uso de formalismo matemático, o que é fundamental para a prática docente de futuros professores do Ensino Médio. Além de permitir vivenciarem uma metodologia que não é comumente adota nos cursos de Física, possibilitando a reflexão sobre técnicas e práticas de ensino.

Entretanto, esse significado difere dos sentidos iniciais atribuídos à Atividade pelos estudantes, que apresentam diferentes motivos que os levaram a participar da disciplina, como o fato de não poderem cursar outras disciplinas que exigiam pré-requisitos ou simplesmente o desejo de ocupar o tempo disponível durante o período de interrupção das aulas presenciais devido ao distanciamento social adotado no controle da pandemia de Covid-19.

Nos episódios vemos que os estudantes se engajam operacionalmente, realizando a leitura prévia do livro-texto, buscando recursos mediacionais que os auxiliem a responderem às questões propostas, negociando ideias e explicações de modo a produzir conhecimentos conceituais que possam aplicar na resolução das

questões. À medida que realizam essas ações, conscientes de seus objetivos, vão se apropriando do significado da Atividade.

No decorrer das aulas, o compartilhamento de valores vai se dando de modo progressivo nas relações no interior dos grupos e nas relações com o professor. Percebemos isso na negociação da divisão do trabalho dos grupos relatada na seção 7, muito pautada na preocupação de que todos os integrantes tivessem condição plena de participar ativamente das discussões e assim, avancarem nos seus conhecimentos conceituais de física. Os grupos poderiam se organizar de modo a entregarem o questionário respondido no menor tempo, ou poderiam estar preocupados apenas com a nota obtida em cada um deles, mas suas ações não se vinculam a esses motivos, e sim ao motivo da Atividade (aprendizagem de conceitos de física aplicados em situações contextualizadas no cotidiano). Por isso, podemos dizer que o engajamento dos estudantes na disciplina é mais que operacional, é compreensivo, por apreender a Atividade no seu conjunto e compartilhar de seu significado objetivo.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção retomamos as principais questões que guiaram esta dissertação, que foi motivada pelo interesse de melhor compreender o ensino e a aprendizagem de física em ambientes de aprendizagem que favorecem a participação discursiva dos estudantes em grupos colaborativos. Compreendemos o ambiente virtual da disciplina Física Conceitual, ofertada em regime remoto para o curso de licenciatura em Física de uma universidade federal, como um ambiente de aprendizagem com essa característica, e acreditamos que este favorece a aprendizagem dos estudantes em várias dimensões.

Assim, nos propomos a aprofundar o entendimento de seu alcance e da concretização, em detalhe, de suas intenções educativas, tendo como objetivo principal examinar, a partir da Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade, como se organiza, se estrutura e se desenvolve uma disciplina de Física Conceitual como ambiente de ensino e aprendizagem no contexto do ensino remoto.

Adotamos a perspectiva da Teoria da Atividade, sobretudo sua terceira geração, centrada principalmente nos estudos de Engeström. Esse referencial nos possibilitou uma larga lente de análise das aprendizagens que ocorreram nos

Sistemas de Atividades analisados, ora no nível micro do trabalho de estudantes de um grupo, ora no macro das relações do grupo com o professor e o restante dos estudantes que cursaram a disciplina Física Conceitual e, ainda, na reconfiguração das relações de ensino aprendizagem em ambiente remoto, imposto pela epidemia da Covid-19. Os deslocamentos de foco da análise nos permitiram identificar interações e conflitos que ocorreram no processo de ensino-aprendizagem que se desenvolve no ambiente pesquisado.

Os diferentes aspectos do Sistema de Atividade proposto por Engeström (2001) nos levaram ao desdobramento do objetivo principal em três questões de pesquisa:

(1) Como os recursos mediacionais disponibilizados pela disciplina aos estudantes são utilizados e ampliados no trabalho dos grupos e com quais intenções?

(2) Como os grupos se organizam, dividem tarefas e que papéis são exercidos por seus membros e como as diferenças são resolvidas ou trabalhadas nos grupos?

(3) Como se relacionam os sentidos dessa experiência de formação do ponto de vista dos estudantes (propósitos, potencialidades, limitações) com os sentidos pretendidos pelo professor?

O material de pesquisa coletado principalmente por meio de gravações de vídeo das aulas e entrevistas individuais com os estudantes nos permitiu discutir essas questões ao longo do texto desta dissertação, o que nos levou a algumas reflexões e conclusões, as quais apresentaremos a seguir.

No que diz respeito à primeira questão de pesquisa, observamos que muitos artefatos que medeiam as ações dos sujeitos durante as aulas são disponibilizados pelo professor ao adotar uma metodologia que consiste no trabalho em pequenos grupos para resolução de questões conceituais de física, antecedido pela leitura do capítulo do livro-texto indicado para cada aula. Assim, três recursos mediacionais se destacam claramente: o livro-texto e os diferentes elementos que o compõem, as questões conceituais propostas pelo professor a cada uma das aulas e as interações discursivas entre os estudantes do grupo.

Pelo destaque que o livro-texto recebe na Atividade desenvolvida pelos estudantes, optamos por analisar seu uso e desdobramentos em mais detalhes, e consideramos que as questões conceituais e o diálogo dos estudantes podem ser foco de pesquisas futuras, de forma a entendermos ainda mais profundamente o ambiente de aprendizagem da disciplina Física Conceitual. Entendemos que o fato do livro ser

um híbrido semiótico o torna um recurso mediacional rico na aprendizagem de física, pois carrega em si vários outros recursos com o potencial de transformar e expandir a Atividade dos sujeitos.

Quando os estudantes consideram que os recursos disponibilizados não são suficientes para atingirem seus objetivos, buscam por novos a que possam recorrer. O professor, ao também avaliar a necessidade de outros recursos para possibilitar o desenvolvimento do trabalho nos grupos os introduz ao longo das aulas, como foi o caso dos simuladores virtuais. Sobre esse recurso, concluímos que cumprem muito bem o objetivo de permitir a visualização dinâmica de fenômenos físicos, contribuindo para superar a limitação do livro-texto, que trata dos fenômenos de forma mais abstrata e estática. Mas observamos que são mais eficazes para a aprendizagem quando os fenômenos observados podem ser aplicados em contextos da vida cotidiana, porque isso faz com que os estudantes consigam explicar o funcionamento de elementos do cotidiano a partir de conhecimentos construídos sobre os fenômenos físicos que podem ser observados nas simulações.

Movidos pela necessidade de solucionarem as questões conceituais de física, os estudantes recorrem aos recursos mediacionais pautados nas regras da Atividade, nas considerações feitas pelo professor durante suas intervenções e nas suas próprias interpretações sobre a importância e utilidade dos diferentes recursos.

Na análise dos episódios, identificamos que os recursos mediacionais tanto provocam tensões como permitem a superação de contradições que emergem na Atividade dos estudantes, tendo, portanto, potencial de promover aprendizagem expansiva. Nem sempre as contradições identificadas são solucionadas, e os miniciclos potencialmente expansivos de ações de aprendizagem associados a elas não são completamente desenvolvidos. Apesar disso, a articulação dos diferentes recursos mediacionais disponibilizados na disciplina Física Conceitual possibilita provocações, inovações e mudanças da Atividade e de seus participantes, que dificilmente seriam observados em outros modelos de sala de aula, como aquelas que adotam o método tradicional de ensino expositivo.

Com relação à segunda questão de pesquisa, constatamos que a divisão de tarefas nos grupos também é influenciada pelas regras da Atividade, em especial a que estabelece que a cada aula um integrante do grupo deve assumir a função de redator das respostas, havendo um rodízio dessa função. Como uma reflexão para

futuras implementações da disciplina Física Conceitual, acreditamos que esta regra deve ser redefinida, visto que quando um estudante assume a função de redator em uma aula, sua participação na discussão fica prejudicada e, conseqüentemente, sua aprendizagem sobre os temas discutidos fica comprometida.

Os grupos se organizam de modo a permitir que todos os integrantes tenham condições de participar ativamente das discussões e ainda cumpram o horário estabelecido para entrega do questionário respondido. Os papéis que desempenham e as relações de poder alternam de acordo com o conhecimento prévio sobre os temas tratados, o nível de domínio dos artefatos mediadores e as características individuais dos sujeitos. As diferenças dos sujeitos, de seus conhecimentos e pontos de vista expressam a multivocalidade dos Sistemas de Atividade analisados, e são resolvidas por meio de negociações constantes entre os sujeitos.

A terceira questão de pesquisa nos leva a compreender a importância de valorizar e reconhecer o desafio da necessária negociação do objetivo de uma Atividade de ensino com os estudantes, de modo a considerar as expectativas dos sujeitos aprendizes e intervir de forma sistemática, buscando fazer com que ocorra a aproximação entre significado e sentido subjetivo da Atividade ((MOREIRA *et al.*, 2011). Observamos que o significado da disciplina Física Conceitual enquanto Atividade difere dos sentidos iniciais atribuídos a ela pelos estudantes. Mas à medida que se engajam operacionalmente, realizando ações conscientes de seus objetivos, vão se apropriando do significado da Atividade. Assim, o engajamento dos estudantes na disciplina é mais que operacional, é compreensivo, por apreender a Atividade no seu conjunto e compartilhar de seu significado objetivo.

Esta pesquisa nos permitiu caracterizar e compreender a disciplina Física Conceitual enquanto ambiente de aprendizagem. Nossos resultados apontam para as potencialidades da metodologia adotada nesta disciplina, como a diversidade de recursos mediacionais disponibilizados, que quando articulados, provocam os sujeitos, geram tensões e possibilitam a superação de contradições, impulsionando a aprendizagem. Também o trabalho em grupo, que permite que sejam criadas oportunidades de discussão e de argumentação, fundamentais para o surgimento de ideias e soluções que dificilmente seriam possíveis durante a aprendizagem individual. Além do tratamento conceitual da física, que pode suprir a lacuna deixada pelo ensino com excessivo formalismo matemático e formar professores que terão condições de

descrever e explicar fenômenos físicos, promovendo um ensino voltado para a formação pautada na ciência, que permite a tomada de decisões responsáveis na sociedade.

Esperamos que este trabalho tenha implicações positivas na formação de professores de física, e possa ainda contribuir para a construção de ambientes de aprendizagem em física efetivos em outros níveis de ensino.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arons, A. B. **Teaching Introductory Physics**. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- BAKHTIN, M.M. **The dialogic imagination**: Four essays by M.M. Bakhtin. Austin: University of Texas Press, 1982.
- BARROSO, M. F.; FALCAO, E. B. M. Evasão Universitária: o caso do Instituto de Física da UFRJ. *In*: IX ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE, 2004, Jaboticatubas, MG. **Anais do IX EPEF**, 2004.
- BATESON, Gregory. **Steps to an ecology of mind**; with a new foreword by Mary Catherine Bateson. Chicago, Illinois: The University of Chicago Press, 1999. Originally published in 1972.
- CASTIBLANCO, O.; NARDI, R. Percepções e expectativas de estudantes de licenciatura sobre a aprendizagem para o ensino de Física. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 1, p. 1–11, 2016.
- 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.
- CONNOLLY, T.; STANSFIELD, M. Using Games-Based eLearning Technologies in Overcoming Difficulties in Teaching Information Systems. **Journal of Information Technology Education: Research**, v. 5, p. 459–476, 2006.
- COSTA, S.; MOREIRA, M. A. A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 263–277, 2001.
- DAVID, M. M.; TOMAZ, V. S. Aprendizagens Expansivas Reveladas pela Pesquisa sobre a Atividade Matemática na Sala de Aula. **Bolema - Mathematics Education Bulletin**, v. 29, n. 53, p. 1287–1308, 1 dez. 2015.
- DOCKTOR, J. L.; MESTRE, J. P. Synthesis of discipline-based education research in physics. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 10, n. 2, p. 1–58, 2014.
- ENGESTRÖM, Y. **Learning by expanding**: an activity-theoretical approach to developmental research. Helsinki: Orienta-Konsultit, 1987.
- 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. **Learning by expanding**: An activity-theoretical approach to developmental research. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- 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.

FAJA, S. Collaborative learning in online courses: Exploring students' perceptions. **Proceedings of the Information Systems Education Conference, ISECON**, v. 29, n. June, p. 42–51, 2012.

GERARD, L.; KIDRON, A.; LINN, M. C. Guiding collaborative revision of science explanations. **International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning**, v. 14, 2019.

GOOD, M.; MARIÉS, A.; SINGH, C. Impact of traditional or evidence-based active-engagement instruction on introductory female and male students' attitudes and approaches to physics problem solving. **Physical Review Physics Education Research**, v. 15, n. 2, p. 20129, 2019.

HAMUTOGLU, N.; GEMIKONAKLI, O.; GEZGIN, D. A Study of the Effectiveness of Edmodo on Preservice Classroom Teachers' Views of Web-Assisted Collaborative Learning Environments, Sense of Classroom Community, and Perceived Learning. **Science Education International**, v. 30, n. 2, p. 128–137, 2019.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 12ª edição. Porto Alegre-RS: Editora Bookman, 2015.

INCE, E. An Overview of Problem Solving Studies in Physics Education. **Journal of Education and Learning**, v. 7, n. 4, p. 191, 2018.

KAM, R.; HOOP, B. Facilitating Inquiry-Based Science Learning Online in a Virtual University. **Higher Learning Research Communications**, v. 3, n. 2, p. 79, 2013.

KEMM, R. E. *et al.* Learning of Key Scientific Concepts in a Web-Based On-Campus Collaborative Learning Environment. *In*: ED-Media 2001 World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. Proceedings, Tampere, Finland, June, 2001.

KRANGE, I.; LUDVIGSEN, S. What does it mean? Students' procedural and conceptual problem solving in a CSCL environment designed within the field of science education. **International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning**, v. 3, n. 1, p. 25–51, 2008.

KWON, K. *et al.* Different Types of Collaborative Problem-Solving Processes in an Online Environment: Solution Oriented Versus Problem Oriented. **Journal of Educational Computing Research**, v. 56, n. 8, p. 1277–1295, 2019.

LEMKE, J. L. Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images, and Actions. **International Conference on Ideas for a Scientific Culture (Museo de Ciencia / Fundacion La Caixa, Barcelona)**, p. 1–13, 1998.

LEMKE J. Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, p. 296-316, 2001.

LEONTIEV, A. N. The Problem of Activity in Psychology. In: WERTSCH, J. V. (ed). **The Concept of Activity in Soviet Psychology**. New York: M.E. Sharpe Inc., 1981. p. 37-71.

LIU, Q. T.; LIU, B. W.; LIN, Y. R. The influence of prior knowledge and collaborative online learning environment on students' argumentation in descriptive and theoretical scientific concept. **International Journal of Science Education**, v. 41, n. 2, p. 165–187, 2019.

MENDONÇA, D. **A resolução de problemas conceituais em Física: uma análise a partir da Teoria da Atividade**. Tese (doutorado em Educação) Faculdade de Educação, UFMG, Minas Gerais, 2019.

MOREIRA, A. F. *et al.* O conceito de atividade e suas possibilidades na interpretação de práticas educativas. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, vol. 13, núm. 3, 2011, pp. 13-29, 2011.

MOREIRA, J. G. Ensinando Física Conceitual – Uma experiência em um Curso de Licenciatura em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

MORTIMER, E. F. **Aprender ciências: tensões e diálogos entre a linguagem comum e a linguagem científica**. In: Cláudia Regina Flores; Suzani Cassiani. (Org.). *Tendências contemporâneas nas pesquisas em Educação Matemática e Científica: sobre linguagens e práticas culturais*. 1ed. Campinas: Mercado de Letras, 2014, p. 185-202.

NAMDAR, B.; SHEN, J. Knowledge organization through multiple representations in a computer-supported collaborative learning environment. **Interactive Learning Environments**, v. 26, n. 5, p. 638–653, 2018.

NICHOLAS, H.; NG, W. Fostering online social construction of science knowledge with primary pre-service teachers working in virtual teams. **Asia-Pacific Journal of Teacher Education**, v. 37, n. 4, p. 379–398, 2009.

OLIVEIRA, V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Resolução de problemas abertos no ensino de física: uma revisão da literatura. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, 2017.

OTHMAN, M.; OTHMAN, M. The proposed model of collaborative virtual learning environment for introductory programming course. **Turkish Online Journal of Distance Education**, v. 13, n. 1, p. 100–111, 2012.

PAULA, H. DE F. E. Fundamentos Pedagógicos para o Uso de Simulações e Laboratórios Virtuais no Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 1, p. 75–103, 2017.

PAULA, H. DE F. E; MOREIRA, A. F. Atividade, ação mediada e avaliação escolar. **Educação em Revista**, v. 30, n. 1, p. 17–36, 2014.

PAZOS, P.; MICARI, M.; LIGHT, G. Developing an instrument to characterise peer-led groups in collaborative learning environments: Assessing problem-solving approach and group interaction. **Assessment and Evaluation in Higher Education**, v. 35, n. 2, p. 191–208, 2010.

PEDUZZI, L. O. Sobre a resolução de problemas no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 229–253, 1997.

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.

PONTELO, IVAN; MOREIRA, A. A teoria da atividade como referencial de análise de práticas educativas. *In*: 1º Seminário Nacional de Educação Profissional e Tecnológica, 2008, Belo Horizonte. **Anais do 1º Seminário Nacional de Educação Profissional e Tecnológica**, p. 1–12, 2008.

PONTELO, I.; MOREIRA, A. F. . Atividade com aquisição automática de dados: quando mediação se torna objeto. *In*: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2008, Curitiba - PR. **Anais do XI EPEF**, 2008.

REIMANN, P. Co-constructing artefacts and knowledge in net-based teams: Implications for the design of collaborative learning environments. **Proceedings of the 29 th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education**, v. 1, p. 53–68, 2005.

ROSA, C. T. W. DA; GHIGGI, C. M. Resolução De Problemas Em Física Envolvendo Estratégias Metacognitivas: Análise De Propostas Didáticas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 31, 2018.

SHAKHMAN, L.; BARAK, M. The physics problem-solving taxonomy (PPST): Development and application for evaluating student learning. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, v. 15, n. 11, 2019.

SILVA, I. P. DA; MERCADO, L. P. L. Revisão sistemática de literatura acerca da experimentação virtual no ensino de Física. **Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 1, p. 49–77, 2019.

SOUSA, C. M. S. G. DE; FÁVERO, M. H. Concepções de professores de Física sobre resolução de problemas e o ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 1, p. 58–69, 2003.

SOUSA, L. P. DE. Contradições na atividade de trabalho de professoras dos anos iniciais em uma escola do estado do Tocantins. Tese (doutorado em Educação) Faculdade de Educação, UFMG, Minas Gerais, 2020.

SOUZA, C. A.; BASTOS, F. DA P. DE. UM AMBIENTE MULTIMÍDIA E A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE FÍSICA Physics classroom activities through

technological and communicative means. **Ciencia & Educacao**, p. 315–332, 2006.

STAHL, G. Group practices: a new way of viewing CSCL. **International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning**, v. 12, n. 1, p. 113–126, 2017.

STAMOVLASIS, D.; DIMOS, A.; TSAPARLIS, G. A study of group interaction processes in learning lower secondary physics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 43, n. 6, p. 556–576, ago. 2006.

ÜNAL, E.; ÇAKIR, H. Students Views About Pbl Collaborative Learning Environments. **Malaysian Online Journal of Educational Technology**, v. 5, n. 2, p. 1–19, 2017.

VIVIAN, R. *et al.* A method to analyze computer science students' teamwork in online collaborative learning environments. **ACM Transactions on Computing Education**, v. 16, n. 2, 2016.

VYGOTSKY, L. S.. **Thinking and speech**. The collected works of LS Vygotsky, v. 1, p. 39-285, 1987.

WERTSCH, J. V. **Mind as action**. Oxford University Press, 1998.

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - ESTUDANTES

Prezados alunos(as),

Eu, Orlando Gomes de Aguiar Junior, professor do Programa de Pós Graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, e Larissa Alves de Moraes, mestranda deste programa, gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa **“Ambientes de Aprendizagem em Física: investigando dinâmica da disciplina de Física Conceitual em um curso de licenciatura”**. Na pesquisa, pretendemos investigar atividades e interações ocorridas em ambiente virtual da disciplina “Física Conceitual”, ofertada em regime remoto pelo Professor Douglas Henrique Mendonça com o código FIF301 pela Universidade Federal de Viçosa, campus Florestal.

Na pesquisa, pretendemos investigar a construção e a efetividade deste ambiente de aprendizagem, com seus objetivos, motivos, objetos de aprendizagem, recursos, regras, formas de interação, papéis esperados de professor e estudantes, metodologia e avaliação.

A pesquisa será realizada apenas com o consentimento de todos estudantes que frequentaram a disciplina em determinado grupo de trabalho⁴ e interrompida assim que algum deles assim o solicitar.

Caso haja o consentimento, a pesquisa será realizada com acesso às gravações de trabalhos do(s) grupo(s) conduzidos pela disciplina no ambiente virtual do googlemeet. Nesse ambiente virtual, vocês trabalharam coletivamente com problemas conceituais de física, relativos a um dos capítulos do livro “Física Conceitual” de Paul Hewitt, lido previamente a cada um dos encontros. As gravações foram autorizadas por todos os estudantes matriculados antes de iniciada a disciplina, mas seu uso para fins de pesquisa está agora sendo solicitado por meio deste termo de consentimento livre e esclarecido.

Caso consentida, a pesquisa envolverá:

1. Transcrição e análise de trechos de interações dos estudantes e professor / monitores durante os trabalhos do grupo.
2. Análise das respostas escritas produzidas pelos grupos na forma de relatório a cada encontro.
3. Análise das devoluções feitas pelo professor, por escrito, nos relatórios dos grupos ou nas aulas de revisão, dadas semanalmente e também gravadas no ambiente virtual do googlemeet.
4. Análise das respostas produzidas pelos estudantes nas três avaliações da disciplina.
5. Entrevistas individuais com estudantes que assim o autorizarem. O objetivo das entrevistas é examinar, do ponto de vista dos estudantes, a efetividade dos elementos (objetivos, recursos e metodologia) utilizados na construção do ambiente de aprendizagem desta disciplina.

Os trechos dos trabalhos de grupo selecionados para transcrição serão aqueles que evidenciarem os processos de aprendizagem operados por meio da interação entre os estudantes e das intervenções do professor e/ou monitores. A transição entre linguagem oral (discussões no grupo) e linguagem escrita (composição dos relatórios escritos ao final de cada encontro) serão também objeto de análise.

⁴Foram matriculados 16 estudantes na referida disciplina e todos a frequentaram integralmente. Os estudantes foram agrupados em 4 grupos de trabalho e, durante os encontros virtuais, cada grupo de trabalho se reunia para resolver problemas de física conceitual sob a orientação do professor e monitores.

Os dados obtidos serão de uso exclusivo para fins da pesquisa. Os resultados estarão à sua disposição quando da finalização da pesquisa. Serão utilizados nomes fictícios nas publicações resultantes da pesquisa, mantendo, assim, sua identidade preservada. Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão sob os cuidados do professor orientador desta pesquisa, Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior, durante o período de 5 (cinco) anos, arquivados em seu gabinete situado na Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, no endereço: Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG.

Durante todo o período da pesquisa você tem o direito de tirar qualquer dúvida ou pedir qualquer outro esclarecimento, bastando, para isso, entrar em contato comigo por meio do telefone (31) 98752-5368 ou pelo e-mail<orlando@fae.ufmg.br> e também com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP/UFMG) para esclarecimento de dúvidas éticas, cujos contatos estão no final desse documento.

A pesquisa apresenta riscos mínimos à sua saúde e bem estar, porém estaremos atentos e dispostos a minimizá-los. Entendemos que o principal risco envolvido nesta pesquisa é a divulgação indevida de sua identidade, sendo assim, nos propomos a realizar todos os esforços para assegurar privacidade a vocês. Caso você não queira participar ou tenha interesse em retirar o seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, tem total liberdade para fazê-lo, sendo que a recusa ou a desistência não acarretam nenhum prejuízo.

Sentindo-se esclarecido (a) em relação à proposta e concordando em participar voluntariamente desta pesquisa, peço-lhe a gentileza de assinar e devolver o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do Menor (TCLE), assinando em duas vias, sendo que uma das vias ficará com você e a outra será arquivada por nós pesquisadores por 5 (cinco) anos, de acordo com a Resolução 466/2012.

Atenciosamente,

Larissa Alves de Moraes
Pesquisadora
(37) 99118-6784

Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior
Coordenador da pesquisa
(31) 98752-5368

Universidade Federal de Minas Gerais

Concordo e autorizo a realização da pesquisa, na condição de confidencialidade do informante, para o que se segue:

- Acesso às gravações de reuniões virtuais (googlemeet) de meu grupo de trabalho na disciplina;
 - Acesso aos materiais escritos produzidos por meu grupo para composição dos relatórios
 - Acesso às avaliações individuais realizadas na disciplina.
 - Disponibilidade para entrevista individual com os pesquisadores
- OU
- Não autorizo** o acesso a meus dados ou de meu grupo para os fins da pesquisa.

Nome completo do aluno(a)

Assinatura do aluno(a)

_____, ____ de _____ de 20__.

Local e data

Comitê de Ética da Pesquisa da UFMG

Av. Presidente Antonio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP 31270-901

Unidade Administrativa II - 2º Andar - Sala: 2005

Telefone: (31) 3409-4592 - E-mail: coep@prpq.ufmg.br

Horário de atendimento: 09:00 às 11:00 / 14:00 às 16:00

Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFV

Edifício Arthur Bernardes, subsolo. Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário - Viçosa/MG

CEP: 36570-900

TELEFONE: (31) 3612-2316 - E-mail: cep@ufv.br

APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - PROFESSOR

Prezado professor,

Eu, Orlando Gomes de Aguiar Junior, professor do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, e Larissa Alves de Moraes, mestranda deste programa, gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa **“Ambientes de Aprendizagem em Física: investigando dinâmica da disciplina de Física Conceitual em um curso de licenciatura”**. Na pesquisa, pretendemos investigar atividades e interações ocorridas em ambiente virtual da disciplina “Física Conceitual”, ofertada em regime remoto com o código FIF301 pela Universidade Federal de Viçosa, campus Florestal.

Na pesquisa, pretendemos investigar a construção e a efetividade deste ambiente de aprendizagem, com seus objetivos, motivos, objetos de aprendizagem, recursos, regras, formas de interação, papéis esperados de professor e estudantes, metodologia e avaliação.

A pesquisa será realizada apenas com o consentimento de todos estudantes que frequentaram a disciplina em determinado grupo de trabalho⁵ e do professor da disciplina e, interrompida assim que algum deles assim o solicitar.

Caso haja o consentimento, a pesquisa será realizada com acesso às gravações de trabalhos do(s) grupo(s) conduzidos pela disciplina no ambiente virtual do googlemeet e às gravações de reuniões com o professor e pesquisadores.

Caso consentida, a pesquisa envolverá:

6. Transcrição e análise de trechos de interações dos estudantes e professor / monitores durante os trabalhos do grupo.
7. Análise das respostas escritas produzidas pelos grupos na forma de relatório a cada encontro.
8. Análise das devoluções feitas pelo professor, por escrito, nos relatórios dos grupos ou nas aulas de revisão, dadas semanalmente e também gravadas no ambiente virtual do googlemeet.
9. Análise das respostas produzidas pelos estudantes nas três avaliações da disciplina.
10. Entrevistas individuais com estudantes que assim o autorizarem. O objetivo das entrevistas é examinar, do ponto de vista dos estudantes, a efetividade dos elementos (objetivos, recursos e metodologia) utilizados na construção do ambiente de aprendizagem desta disciplina.
11. Entrevista individual com o professor. O objetivo da entrevista é examinar os propósitos da oferta desta disciplina pelo professor e avaliar seus alcances e limitações.

Os trechos dos trabalhos de grupo selecionados para transcrição serão aqueles que evidenciem os processos de aprendizagem operados por meio da interação entre os estudantes e das intervenções do professor e/ou monitores. A transição entre linguagem oral (discussões no grupo) e linguagem escrita (composição dos relatórios escritos ao final de cada encontro) serão também objeto de análise.

Os dados obtidos serão de uso exclusivo para fins da pesquisa. Os resultados estarão à sua disposição quando da finalização da pesquisa. Serão utilizados nomes fictícios nas publicações resultantes da pesquisa, mantendo, assim, sua identidade

⁵Foram matriculados 16 estudantes na referida disciplina e todos a frequentaram integralmente. Os estudantes foram agrupados em 4 grupos de trabalho e, durante os encontros virtuais, cada grupo de trabalho se reunia para resolver problemas de física conceitual sob a orientação do professor e monitores.

preservada. Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão sob os cuidados do professor orientador desta pesquisa, Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior, durante o período de 5 (cinco) anos, arquivados em seu gabinete situado na Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, no endereço: Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG.

Durante todo o período da pesquisa você tem o direito de tirar qualquer dúvida ou pedir qualquer outro esclarecimento, bastando, para isso, entrar em contato comigo por meio do telefone (31) 98752-5368 ou pelo e-mail<orlando@fae.ufmg.br> e também com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP/UFMG) para esclarecimento de dúvidas éticas, cujos contatos estão no final desse documento.

A pesquisa apresenta riscos mínimos à sua saúde e bem estar, porém estaremos atentos e dispostos a minimizá-los. Entendemos que o principal risco envolvido nesta pesquisa é a divulgação indevida de sua identidade, sendo assim, nos propomos a realizar todos os esforços para assegurar privacidade a você. Caso você não queira participar ou tenha interesse em retirar o seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, tem total liberdade para fazê-lo, sendo que a recusa ou a desistência não acarretam nenhum prejuízo.

Sentindo-se esclarecido (a) em relação à proposta e concordando em participar voluntariamente desta pesquisa, peço-lhe a gentileza de assinar e devolver o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), assinando em duas vias, sendo que uma das vias ficará com você e a outra será arquivada por nós pesquisadores por 5 (cinco) anos, de acordo com a Resolução 466/2012.

Atenciosamente,

Larissa Alves de Morais
Pesquisadora
(37) 99118-6784

Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior
Coordenador da pesquisa
(31) 98752-5368

Universidade Federal de Minas Gerais

Concordo e autorizo a realização da pesquisa, na condição de confidencialidade do informante, para o que se segue:

- () Acesso às gravações de reuniões virtuais (googlemeet);
- () Acesso aos comentários escritos na correção dos relatórios dos grupos;
- () Disponibilidade para entrevista individual com os pesquisadores.

OU

- () **Não autorizo** o acesso a meus dados ou de meu grupo para os fins da pesquisa.

Nome completo do professor

Assinatura do professor

_____, ____ de _____ de 20____.
Local e data

Comitê de Ética da Pesquisa da UFMG

Av. Presidente Antonio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP 31270-901

Unidade Administrativa II - 2º Andar - Sala: 2005

Telefone: (31) 3409-4592 - E-mail: coep@prpq.ufmg.br

Horário de atendimento: 09:00 às 11:00 / 14:00 às 16:00

Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFV

Edifício Arthur Bernardes, subsolo. Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário - Viçosa/MG

CEP: 36570-900

TELEFONE: (31) 3612-2316 - E-mail: cep@ufv.br

APÊNDICE C

ROTEIRO DE ENTREVISTA COM OS ESTUDANTES

Apresentação:

Oi, (nome d@ alun@), meu nome é Larissa, eu sou aluna do mestrado em educação da UFMG. Como você sabe, estou desenvolvendo pesquisa sobre ambientes de aprendizagem em física, a partir da experiência da disciplina Física Conceitual.

Nesta entrevista, estou convidando alun@s que frequentaram a disciplina a falarem de suas impressões sobre esta experiência vivida. Para mim, o mais importante é que você fale sobre isso sem inibições, apresentando seus pontos de vista e sua avaliação pessoal do modo mais aberto possível, sem qualquer censura. Os dados do entrevistado serão mantidos em sigilo e seu nome será substituído por um pseudônimo (você pode sugerir algum, se quiser). Vou conduzindo a entrevista em tópicos, mas fique à vontade se quiser falar mais livremente sobre outros temas e tópicos que você julgar serem importantes.

Conhecendo o estudante

Vamos começar a entrevista conhecendo melhor o perfil de cada estudante do curso, ou seja, falando um pouco sobre sua formação inicial, suas aspirações e interesses.

- 1) Fale um pouco sobre você e sua trajetória acadêmica (em que escolas estudou? Como avalia ter sido sua formação na educação básica?). Realizou algum outro tipo de projeto (cursos, trabalhos)?
- 2) Sua relação com a física / professores no ensino médio.
- 3) O que o levou a escolher o curso de licenciatura em Física em uma Universidade Federal?
- 4) Quais suas aspirações profissionais?

Motivações e visão geral da disciplina “Física Conceitual”

- 5) O que motivou a sua matrícula na disciplina? Quais eram suas expectativas?

- 6) A sua motivação se manteve a mesma no decorrer do curso? Suas expectativas foram supridas ou teve decepções? Surgiram novas motivações e novas expectativas?
- 7) Em outras experiências acadêmicas, você já teve contato com a metodologia de ensino adotada neste curso (trabalho em grupo para resolução de problemas conceituais antecedido por leitura de texto)? Como você compara essa metodologia com outras que já teve contato? Como avalia a efetividade desse tipo de metodologia? Você acha que esse método de ensino ajuda a aprender física? Que limitações e /ou vantagens vê nesta maneira de ensinar e aprender física?
- 8) Como você avalia a influência da disciplina na sua formação como futuro professor@ de física?
- 9) Você já pensou ou acha que seria possível utilizar elementos da Física Conceitual em suas aulas? Quais e como?

Visão dos elementos da disciplina

Na seção seguinte, vamos comentar alguns aspectos da proposta da disciplina:

Objetivos

10) Você acha que os objetivos da disciplina explicitados na ementa foram atingidos ou parcialmente atingidos? Você identifica outros objetivos, além deste? Comente sobre isso.

Regras

11) A disciplina era constituída de algumas regras e obrigações: horário de aulas em grupo e aulas de dúvidas, leitura do livro-texto antes de cada aula, redação de respostas das questões a cada quatro aulas, tempo para entrega do questionário respondido, resposta a um questionário online, realização de avaliações formais. Como você lidou com cada uma das regras da disciplina? 12) Teve dificuldade em cumprir alguma delas? Acha que contribuíram para o seu desempenho no curso?

13) Como foram as atividades online? Como você as realizava? Elas contribuíam significativamente ou era uma obrigação sem grande relevância?

Organização do grupo (divisão do trabalho)

- 14) Como seu grupo se organizou para realizar as tarefas propostas e qual sua percepção sobre isso?
- 15) Como você descreveria o papel que desempenhou na divisão do trabalho em grupo? E como você avalia isso?
- 16) Como caracterizaria seus colegas?
- 17) Você teria alguma sugestão para melhorar a dinâmica?

Recursos

- 18) Alguns recursos foram trazidos para a atividade, tanto pelo professor como por vocês estudantes. Sendo alguns deles: o texto do livro do Hewitt; as questões propostas nas aulas, simulações do PhET, imagens, simulações e vídeos da internet. Como você usou esses recursos e como avalia a efetividade do uso dos mesmos?
- 19) Em relação às questões, você as considera intrigantes e desafiadoras? Como você avalia o número e tipo de questões propostas nas aulas? Considera que são questões comuns a outras questões de Física que já teve contato? Quais elementos dessas questões (contextualização, considerar situações reais e não ideais, linguagem, diagramas) facilitou ou dificultou a resolução das mesmas?
- 20) Em relação ao livro, você considera sua leitura fácil ou difícil? Motivadora ou entediante? Prazerosa ou cansativa? Considera que foi uma ferramenta útil para a aprendizagem em Física? Uma ferramenta útil para auxiliar na resolução das questões propostas?

Feedback do professor

- 21) Durante as aulas, o professor visitava o grupo e dava alguns feedbacks. Como você avalia as intervenções do professor nestes momentos? Comente.
- 22) O que achava do professor? (Suas conduções e abordagem.)
- 23) Ainda durante as aulas, uma das pesquisadoras do grupo acompanhava o trabalho do grupo e, algumas vezes, fazia comentários, perguntas ou sugestões. Como você avalia essas intervenções?
- 24) O professor, a cada aula, trazia o relatório da aula anterior corrigido e comentado. O que você achou de haver feedbacks do professor em cada relatório? Você lia esses comentários? Eles ajudavam a entender melhor o problema proposto? Esses

comentários ajudaram o grupo a melhorar o padrão das respostas dadas nos relatórios seguintes?

25) Como você avalia as aulas de dúvidas? Era realmente possível sanar suas dúvidas nessas aulas? As sínteses feitas pelo professor nestas aulas o ajudaram a retomar conceitos e ideias fundamentais dos capítulos estudados durante a semana? Elas o ajudaram a se preparar para as provas?

26) Nessas aulas (de dúvidas), alguns alunos não participaram muito, você teria uma hipótese para essa baixa participação? Havia algo que te deixava desconfortável ou que pudesse deixar seus colegas?

Avaliações formais (provas)

27) Durante o curso, foram realizadas 3 provas. Como você avalia os dois formatos de avaliação propostos? Você teve dificuldades na realização das avaliações? Considera que elas foram justas e adequadas aos conteúdos, metodologia e propósitos da disciplina?

28) Além destas, o professor conferiu notas aos relatórios do grupo. Você considera que essa atribuição de notas foi adequada e justa?

Sobre a aprendizagem do estudante

29) O que você considera ter aprendido com a disciplina? A leitura do livro mais a discussão com os colegas foi suficiente para você avançar nos conhecimentos de física?

30) Quais pontos da metodologia você considera que foram importantes para essa aprendizagem? E como?

31) Como você avalia sua aprendizagem de conceitos físicos? E sua aprendizagem para além de conceitos (de procedimentos, condutas, valores)?

32) Sobre os conteúdos – quais você sentiu maior dificuldade? Já tinha estudado sobre o assunto durante o ensino médio?

33) A disciplina foi inicialmente pensada para ser ministrada presencialmente, o que você acha do ajuste que foi feito? Potenciais e limitações.

34) Se a disciplina fosse presencial, o que você acha que mudaria? Melhoraria sua aprendizagem? O que ganhamos com esse formato e o que perdemos

ANEXO A

PLANO DE ENSINO DE DISCIPLINA FÍSICA CONCEITUAL

CARGA HORÁRIA

Semestral:	Semanal: 15 horas		
90 horas	Em sala de aula virtual	Em outros ambientes	De dedicação do estudante à disciplina
	10 horas	5 horas	0

CRÉDITOS

Contabiliza créditos	Número de Créditos:
Ementa: Cinemática e Dinâmica de movimentos de Translação e Rotação; Gravitação; Movimentos oscilatórios; Ondas; Óptica Física; Termodinâmica; Eletromagnetismo; Física Moderna.	
Objetivos: Rever e aprofundar nos conceitos básicos de Física com enfoque de Ensino Médio e contextualização no cotidiano, com aplicações em problemas relacionados ao meio cotidiano dos estudantes.	

UNIDADE 1

Conteúdo: <ul style="list-style-type: none"> • Cinemática; • Leis de Newton; • Momentum; • Transformação de energia; • Rotação; • Gravitação. 	
Recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Leitura do livro texto de referência; • Fórum da disciplina; • Questionário online; • Reunião online para resolução de questões; 	
Metodologia: <ul style="list-style-type: none"> • O primeiro momento da aula acontecerá de forma individual, por meio da leitura do capítulo de referência da aula do livro texto indicado; • No segundo momento, o estudante deverá responder a alguns questionários online sobre sua interpretação do capítulo. • No terceiro momento os estudantes se reunirão em grupo de forma online para resolver problemas conceituais fornecidos pelo professor. Tal resolução deverá acontecer por meio de um formulário online com edição coletiva entre os estudantes. 	
Observação: O primeiro horário de cada dia iniciando às 8 horas, ocorrerá encontros online para reunião do grupo. No segundo momento, iniciando às 17 horas, os estudantes realizarão atividades individuais offline.	
Cronograma	Data

		Horário
Aula de abertura e apresentação da disciplina	08/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 2: Primeira Lei de Newton do Movimento	9/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 3: Movimento retilíneo	10/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 4: Segunda lei de Newton do Movimento	11/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 18:00
Capítulo 5: Terceira lei de Newton do Movimento	15/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 6: Momentum	16/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 7: Energia	17/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 8: Movimento de rotação Capítulo 9: Gravidade	18/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 18:00

UNIDADE 2		
Conteúdo:		
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura; • Calor; • Dilatação; • Termodinâmica; • Oscilações transversais e longitudinais; • Fenômenos oscilatórios. 		
Cronograma	Data	Horário
Capítulo 15: Temperatura, Calor e Dilatação	22/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 16: Transferência de Calor	23/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 17: Mudança de Fase	24/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 18: Termodinâmica	25/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 18:00
1ª Avaliação	26/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 18:00
Capítulo 19: Vibrações e Ondas	29/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 20: Som	30/06/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 21: Sons Musicais	01/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Avaliação escrita	02/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 18:00
UNIDADE 3		
Conteúdo:		
<ul style="list-style-type: none"> • Eletricidade; • Magnetismo; • Luz; • Cores; 		

• Emissão de luz.		
Cronograma	Data	
		Horário
Capítulo 22: Eletricidade e Magnetismo	06/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 23: Corrente Elétrica	07/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 24: Magnetismo	08/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 26: Propriedades da Luz	09/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 18:00
Capítulo 27: Cor	13/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 28: Reflexão e Refração	14/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 29: Ondas Luminosas	15/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 19:00
Capítulo 35: Teoria Especial da Relatividade	16/07/2020	08:00 – 10:00 17:00 – 18:00
Avaliação escrita	20/07/2020	08:00 – 10:00
Exame Final	22/07/2020	08:00 – 10:00
Referências		
1 - HEWITT, P. G. Física Conceitual. 12 ^a Ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.		
2 - FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M.L. The Feynman Lectures on Physics. Vol. 1. Addison-Wesley Publishing Company, 1963-1965.		
3 - FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B., SANDS, M. L. The Feynman Lectures on Physics. Vol. 2. Addison-Wesley Publishing Company, 1963-1965.		
4 - FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B., SANDS, M. L. The Feynman Lectures on Physics. Vol. 3. Addison-Wesley Publishing Company, 1963-1965.		
5 - NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica. 4 ^a ed., vol. 1. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.		
6 - NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica. 4 ^a ed., vol. 2. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.		
7 - NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica. 4 ^a ed., vol. 3. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.		
8 - NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica. 4 ^a ed., vol. 4. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.		
9 - RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. Fundamentos da Física. Vol. 1, 8 ^a ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2009.		

10 - RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. Fundamentos da Física. Vol. 2, 8ª ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2009.

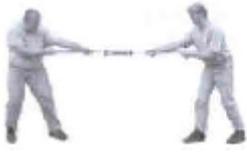
11 - RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. Fundamentos da Física. Vol. 3, 8ª ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2009.

12 - RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. Fundamentos da Física. Vol. 4, 8ª ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2009.

ANEXO B
QUESTIONÁRIOS DE FÍSICA CONCEITUAL

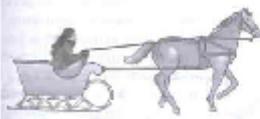
FÍSICA CONCEITUAL I

**Questões do Cap.2 – A Primeira Lei de Newton do Movimento -
Inércia**

1.	<p>Quim está de pé em um ônibus que para repentinamente, o que faz com que ele seja jogado para frente. Que força atua sobre Quim e o joga para frente?</p>
2.	<p>Um bloco de massa m está suspenso do teto através de uma corda. Uma corda similar está presa à parte de baixo do bloco, como mostra a figura ao lado. Se Quim der um puxão repentino nessa corda ela quebra, mas se ele puxar a corda devagar, a corda de cima é que quebra.</p> <p>A. Explique por que a corda arrebenta em baixo se ele puxa bruscamente e em cima quando Quim puxa devagar. B. Dê exemplos do cotidiano em que ocorre algo semelhante.</p>
3.	<p>Mané puxa um dinamômetro preso a uma parede (Figura I). A seguir, ele pede a Quim para segurar a outra extremidade e puxa o dinamômetro com a mesma força (Figura II). Como se comparam as leituras no dinamômetro nessas duas situações.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">Figura I Figura II</p>
4.	<p>Tem dias que Mané, de 80 kgf, prende sua cadeirinha de pintor da forma mostrada na figura da esquerda – a corda sai da cadeirinha, passa na roldana e volta à cadeirinha – e em outros dias da forma mostrada na figura da direita – uma extremidade da corda está amarrada na cadeirinha, ela passa na roldana e a outra extremidade está presa a um mastro.</p> <p>Nessas duas situações, determine</p> <p>A) a tensão na corda. B) a força sobre o eixo da roldana.</p>
5.	<p>Quim, o robusto personagem da figura ao lado, pesa 1200 N. Ele é chamado para levantar o bloco da figura que pesa 1500 N.</p> <p>A. Ele conseguirá levá-lo da forma mostrada na figura? B. E um halteres com o mesmo peso do bloco, ele consegue levantar? Discuta as diferenças.</p>
6.	<p>A. Compare a tensão na corda com o peso da lanterna na situação mostrada na figura da esquerda.</p> <p>B. Repita essa comparação para a situação da figura da direita.</p>

FÍSICA CONCEITUAL I

Questionário do Capítulo 5 – 3ª Lei de Newton do Movimento

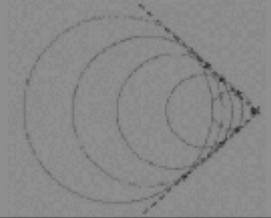
1.	Um cavalo puxa um trenó com uma força horizontal, fazendo-o acelerar, como mostra a figura. A 3ª Lei de Newton diz que o trenó exerce uma força de mesmo módulo e direção oposta sobre o cavalo. Em vista disso, como pode o trenó se acelerar – essas forças não se cancelam?	
2.	Mané ($m = 80 \text{ kg}$) tem que empurrar uma caixa ($M = 100 \text{ Kg}$), como mostra a figura ao lado. Ele consegue deslocar essa caixa? Faça as considerações necessárias para dar sua resposta.	
3.	A figura mostra Quim que está pendurado em dois vagões de massas iguais. Ele quer movimentar esses vagões de forma que o da esquerda fique onde está e o da direita se afaste. Ele consegue fazer isso abrindo os braços, da forma indicada na figura?	
4.	A. Mané está dando um passo. Identifique as forças que atuam sobre ele e as respectivas reações. Repita isso para as seguintes situações: B. Quim chutando uma bola; C. Essa mesma bola em movimento no ar; D. Uma bola de borracha quicando no chão; E. Uma onda de rádio interagindo com um elétron de uma antena.	
5.	Seu Zé pára do lado de uma balança e empurra uma bengala fortemente no piso dessa balança. Nessa situação, a balança marca 42,3 kgf. A seguir, ele sobe na balança e, segurando a bengala na mão, a balança marca 84,7 kgf. Por fim, ele, ainda em cima da balança, volta a empurrar a bengala no piso da balança, tão fortemente como antes. Estime quanto a balança marca (em kgf) nessa nova situação.	
6.	Fafá está sentada na calçada vendo Quim e Mané andando de bicicleta. Quim vem de sua esquerda e Mané de sua direita com velocidades semelhantes. Quando os dois estão passando em frente a ela, Mané deixa cair uma moeda. Desenhe a trajetória da moeda vista por Mané, Fafá e Quim.	
7.	A figura mostra uma vista de cima de três barcos a motor atravessando um rio. Todos têm a mesma rapidez com relação à água, e o fluxo da água é o mesmo para todos. A. Que barco descreve o caminho mais curto até a margem oposta? B. Que barco chega primeiro à margem oposta? C. Que barco oferece o passeio mais veloz?	

FÍSICA CONCEITUAL I

Questões do Capítulo 6 - Momentum

1	<p>Dê uma única explicação para as seguintes afirmativas:</p> <p>a) Ditado popular: "Não é a queda que machuca, é o tranco da parada."</p> <p>b) Manual de um carro: "O cinto de segurança deve ser ajustado para ficar justo, mas confortável, ou seja, não pode ficar muito apertado."</p> <p>c) Quim atira um ovo contra uma vela de pano não muito esticada e repara que o ovo não se quebra.</p>
2	<p>Um bombeiro tem dificuldade de segurar uma mangueira que ejeta água em grande quantidade e com alta velocidade. Para facilitar, ele procura manter a mangueira o mais esticada possível, sem fazer curvas. Por quê?</p>
3	<p>Em uma história do Super-homem, ele está no espaço e arremessa um asteroide com uma velocidade enorme. Se o asteroide tem uma massa 100 vezes maior do que a do herói, o que deve acontecer com ele?</p>
4	<p>Jogando bente altas (ou taco, ou beisebol, ou críquete), Mané arremessa a bola que Quim consegue rebater, mas Mané a pega no ar. Em que situação o jogador faz mais força sobre a bola:</p> <p>a) Mané arremessando-a; b) Quim rebatendo-a; c) Mané pegando a bola.</p>
5	<p>Em uma reportagem na TV, um jornalista disse que um bloco de 10 kg caiu de um prédio de 3 andares, causando um impacto maior que um peso de um objeto de 100 kg. Você concorda com essa afirmação? Qual suposição é necessária para se fazer essa estimativa?</p>
6	<p>Brincando no espaço interplanetário, Quim e Mané resolvem jogar vôlei usando Fafá como bola, da forma mostrada na figura. Quim a joga para Mané que a segura e devolve.</p> <p>A. Descreva o movimento dos três após essas duas jogadas.</p> <p>B. Qual dos três terá a maior rapidez e qual terá a menor?</p> 
7	<p>Mané está em um trenó de gelo movido a vela, parado em um dia sem vento. Para fazer o trenó andar, Mané monta um ventilador, como mostrado na figura.</p> <p>a) Se todo o vento produzido pelo ventilador parar na vela, o trenó entra em movimento? Se sim, em que sentido?</p> <p>b) E se Mané remover a vela?</p> 

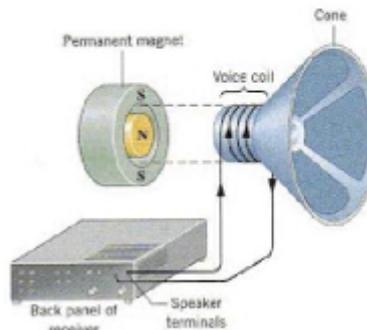
FÍSICA CONCEITUAL II
Questões do Capítulo 19 – Vibrações e Ondas

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	A agulha de uma máquina de costura move-se para cima e para baixo num movimento harmônico simples. A força que age sobre ela provém de uma roda giratória movimentada por um motor elétrico. Como você supõe que se comparam os períodos e as frequências do movimento vertical da agulha e o do movimento giratório da roda?	
3	Qual é a frequência do ponteiro dos segundos de um relógio? E a do ponteiro dos minutos? E a do ponteiro das horas?	
4	Mané brinca produzindo ondas ao bater com uma varinha na superfície de um lago. A. Descreva o que ocorre com a onda formada se Mané passa a bater com a varinha i. mais frequentemente; ii. com maior força. B. Explique porque as ondas formadas por Mané têm sua amplitude diminuída à medida que se afastam dele.	
5	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.	
6	Um sonar é utilizado para se determinar a velocidade de objetos, p. ex., de carros. Esse sonar tem um emissor de som de uma determinada frequência e um detector que “ouve” o eco, ou seja, esse som após ter sido refletido pelo objeto. Como é possível determinar a velocidade do objeto?	
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	Se o som de um avião não vem da parte do céu onde ele é visto, isso significa que ele está se deslocando a uma velocidade supersônica?	

FÍSICA CONCEITUAL II

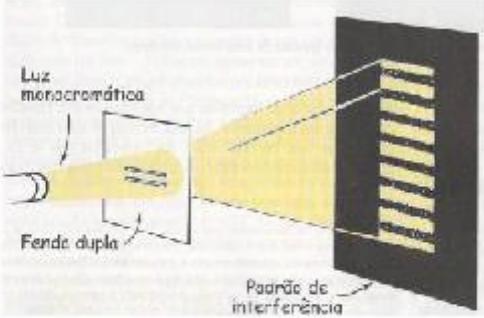
Questões do Capítulo 24 – *Magnetismo*

1	<p>Para responder às questões a seguir, entre no site indicado abaixo e rode a simulação. https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/generator</p> <p>Primeira parte da simulação orientada: Na aba de solenoide.</p> <ol style="list-style-type: none"> i. Mova a espira conectada a lâmpada longe do ímã e tente fazer ela iluminar. ii. Agora repita o experimento passando o ímã por dentro da espira. iii. Deixe ela parada dentro do ímã. iv. Substitua a lâmpada pelo medidor de tensão e repita os procedimentos anteriores. <p>Proponha uma explicação para os fenômenos observados.</p> <p>Segunda parte da simulação orientada: Na aba transformador.</p> <ol style="list-style-type: none"> i. Mova a espira conectada a lâmpada passando por fora da pilha. ii. Inverta a tensão na pilha e observe o que acontece com os ímãs em sua volta. iii. Aproxime a espira e veja o sentido da corrente que passa pela lâmpada. iv. Agora afaste a espira e faça a mesma observação. v. Por fim, deixe a espira com a lâmpada imóvel próxima a pilha, e faça alterações rápidas e contínuas na tensão da pilha. <p>Proponha uma explicação para os fenômenos observados.</p> <p>Terceira parte da simulação: Na aba gerador</p> <p>Utilize essa simulação para explicar o funcionamento das hidrelétricas, não deixe de explicar a importância do controle de abertura e fechamento das comportas, bem como as dificuldades em tempos de seca prolongada ou de grande intensidade de chuva. Aproveite o momento para generalizar a explicação para outras formas de obtenção de energia elétrica, tais como: usina termoelétrica, usina eólica e alternador veicular - dispositivo que carrega a bateria do carro.</p>
2	<p>Faça um esboço da sala onde você está e indique nesse esboço a direção e sentido do campo magnético terrestre.</p> <p>(Obs. Escolha a sala de um de vocês para representar no esboço)</p>
3	<p>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.</p>
4	<p>Qual é a causa da força magnética provocada por um eletroímã? E por um ímã?</p>
5	<p>Um alto-falante consiste em um cone preso a um conjunto de espiras condutoras de corrente localizado em um campo magnético. Qual é a relação entre as oscilações da corrente e as vibrações do cone?</p>



FÍSICA CONCEITUAL II

Questões do Capítulo 29 – *Ondas Luminosas*

1	<p>Assista ao vídeo e responda às 5 questões que lá são apresentadas e a questão 6 aqui exposta.</p> <p>https://youtu.be/cxAQ-vO8MrY</p> <p>Também responda:</p> <p>6 – O que aconteceria se as duas fontes de onda não produzissem ondas com frequência constante?</p> <p>Link da simulação (opcional) https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_pt_BR.html</p>
2	<p>Por que os óculos com lentes polaroides reduzem o brilho, enquanto os óculos escuros com lentes comuns simplesmente cortam a luz total que chega aos olhos?</p>
3	<p>Por que a implementação prática da holografia teve de esperar o advento do <i>laser</i>?</p>
4	<p>Quim 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.</p> <p>a) A fonte da luz monocromática pode ser uma lâmpada de gás ou tem de ser um laser?</p> <p>b) Se Quim 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?</p> <p>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?</p>  <p>O diagrama ilustra o experimento de interferência de luz. À esquerda, um feixe de luz monocromática vermelha é direcionado para um anteparo contendo uma fenda dupla. À direita, a luz que passou pelas duas fendas interfere, criando um padrão de interferência visível na parede oposta, caracterizado por franjas horizontais alternadas de luz e sombra.</p>