UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS

**A IMPORTÂNCIA DA PERGUNTA NA PROMOÇÃO DA
ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA DOS ALUNOS EM AULAS
INVESTIGATIVAS DE FÍSICA**

VITOR FABRÍCIO MACHADO SOUZA

SÃO PAULO

MARÇO 2012

A IMPORTÂNCIA DA PERGUNTA NA PROMOÇÃO DA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA DOS ALUNOS EM AULAS INVESTIGATIVAS DE FÍSICA

VITOR FABRÍCIO MACHADO SOUZA

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO INSTITUTO
DE FÍSICA, INSTITUTO DE QUÍMICA, INSTITUTO
DE BIOLOGIA E À FACULDADE DE EDUCAÇÃO
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENSINO
DE CIÊNCIAS.**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENSINO DE FÍSICA

**ORIENTADORA: PROF^A DR^A LUCIA HELENA
SASSERON**

SÃO PAULO

MARÇO 2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

**Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo**

Souza, Vitor Fabrício Machado

A importância da pergunta na promoção da
alfabetização científica dos alunos em aulas investigativa
de física. - . São Paulo, 2012

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de
Química e Instituto de Biociências

Orientador: Profa. Dra. Lúcia Helena Sasseron

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1.Física (Estudo e ensino); 2. Alfabetização
Científica; 3. Atos da linguagem; 4. Análise do Discurso.

USP/IF/SBI-002/2012

RESUMO

MACHADO, V. F. **A importância da pergunta na promoção da alfabetização científica dos alunos em aulas investigativas de Física**, 2012. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP).

O trabalho de pesquisa desenvolvido aqui visa a entender quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma atividade investigativa de Física e quais os indicadores de alfabetização científica (SASSERON, 2008) apresentados pelos alunos a fim de investigar como as perguntas podem influenciar na promoção da alfabetização científica. Buscamos desenvolver uma categorização dos tipos de perguntas feitas pelo professor em aulas investigativas e verificar de que forma essas perguntas podem auxiliar os alunos a desenvolver aspectos relacionados à alfabetização científica.

O entendimento sobre o que seja pergunta está circunscrito à dimensão discursiva (BAKHTIN, 2000; VYGOTSKY, 2000) como um instrumento dialógico na cadeira enunciativa; à dimensão epistemológica (BACHELARD, 2007) como uma forma de se buscar o conhecimento e se investigar o mundo que nos cerca; e à dimensão social e política (FREIRE, 1985) como uma forma de incitar a curiosidade e o questionamento não apassivado perante as contradições existentes no mundo.

A elaboração das categorias considerou os referenciais relacionados aos aspectos discursivos (MORTIMER e SCOTT, 2002) no que se refere às intenções do professor em suas intervenções junto aos alunos no curso de uma investigação. Considerou também o ciclo argumentativo (SASSERON, 2008) que os alunos apresentam durante as etapas de uma atividade investigativa. Por fim, considerou os trabalhos anteriores cujo foco da pesquisa também se centrava nas perguntas do professor em aulas de Ciências (PENICK, 2007; MARTENS, 1999; e HARLEN, 1996). As categorias dos tipos de perguntas feitas pelo professor são: perguntas de problematização, perguntas sobre dados, perguntas exploratórias sobre processo, perguntas de sistematização. Com essa categorização, buscamos analisar de que forma as perguntas do professor ocorrem em uma aula investigativa e quais os indicadores de alfabetização científica (SASSERON, 2008) apresentados pelos alunos em cada momento das aulas investigativas.

As aulas analisadas, que constituem nossos dados, são oriundas do trabalho de mestrado de Barrelo Jr (2010) e compõem-se de uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI)

desenvolvida por Brokington (2005) sobre a dualidade onda-partícula e o interferômetro de Mach-Zehnder.

Verificamos em nossa análise que a nossa categorização apresenta uma grande ocorrência nas aulas e que, para determinadas perguntas do professor, os alunos apresentam, majoritariamente, alguns indicadores específicos de alfabetização científica, formando assim pares de perguntas/indicadores característicos para cada momento da atividade investigativa. Verificamos também que as perguntas dos alunos podem exercer um papel duplo no curso da argumentação e da investigação. Elas podem, ao mesmo tempo, expressar indicadores de alfabetização científica e, pelo seu caráter dialógico inerente, estimular e provocar os demais alunos a outras reflexões.

Concluimos, por fim, que as perguntas em aulas investigativas têm um papel importante no desenvolvimento de aspectos da alfabetização científica dos alunos e podem, quando amplamente utilizadas pelos alunos e professor oferecer um ambiente mais dialógico e propício para a argumentação em sala de aula, tornando-se um rico instrumento dialógico para auxiliar na construção dos significados em atividades investigativas de Física.

Palavras Chave: pergunta, atividades investigativas, alfabetização científica, ensino de Física

ABSTRACT

MACHADO, V. F. **The importance of the question in the promotion of scientific literacy of students in investigative Physics classes**, 2012. Dissertation (Master's Degree) – Institute of Physics e Education School - USP

The research developed here aims to understand what are the types of questions asked by a teacher in an investigative Physics activity and which indicators of scientific literacy (SASSERON, 2008) presented by the students to investigate how the questions can influence the promotion of scientific literacy. We seek to develop a categorization of types of questions asked by the teacher in investigative classes and check how these questions can help students to develop aspects related to scientific literacy.

The understanding of what is a question is circumscribed to the discursive dimension (BAKHTIN, 2000; VYGOTSKY, 2000) as a dialogical instrument; to the epistemological dimension (BACHELARD, 2007) as a way to pursue knowledge and to investigate the world around us; and to the social and political dimensions (FREIRE, 1985) as a way to incite curiosity and not passive questioning before the contradictions of the world.

Our elaboration of categories considered the referentials related to the discursive aspects (MORTIMER and SCOTT, 2002) regarding the intentions of the teacher in the student's speeches in the course of an investigation. It also considered the argumentative cycle (SASSERON, 2008) which students present during the stages of an investigative activity. Finally, considered the previous works also focused on the teacher's questions in Science classes (PENICK, 2007; MARTENS, 1999; e HARLEN, 1996). The categories of types of questions asked by the teacher are: problematization questions, questions about data, exploratory questions about process, systematization questions. With this categorization, we sought to analyze how the teacher's questions occur in an investigative class and which are the indicators of scientific literacy (SASSERON, 2008) presented by the students in each moment of the investigative classes.

The classes that make up our analyzed data come from a master thesis by Barrelo Jr (2010) and consist of a Sequence of Investigative Teaching (SEI, the initials in Portuguese) developed by Brokington (2005) on the wave-particle duality and Mach-

Zenhder interferometer.

We found in our analysis that our categorization has a high occurrence in the classes and, for certain teacher's questions, the students present, mostly, some specific indicators of scientific literacy, thus forming pairs of questions/indicators characteristic of each moment of the investigative activity. We also noticed that the student's questions can play a dual role in the course of argument and research. They can, at the same time, express indicators of scientific literacy and, for their inherent dialogical character, stimulate and provoke the other students to further reflection.

We conclude, finally, that the questions in investigative classes have a important role in the development of aspects of scientific literacy and may, when widely used by students and teacher, provide an environment more dialogical and favourable to argumentation in the classroom, becoming a rich dialogical tool to assist in the construction of meaning in investigative Physics activities.

Keywords: question, investigative activities, scientific literacy, Physics teaching

SUMÁRIO

1.Introdução e Justificativa

- 1.1 A pergunta como forma de conhecer e de questionar.....09*
- 1.2 A pergunta como manifestação discursiva na forma de aprender Física.....13*

2. Referencial teórico da pesquisa

- 2.1 O que consideramos como pergunta?.....17*
- 2.2 Ressignificando a pergunta.....18*
- 2.3 O ensino Investigativo de Física, a Alfabetização Científica e a pergunta.....22*

3. Referencial Teórico Metodológico de pesquisa

- 3.1 A pergunta nas análises das interações discursivas em Ciências.....29*
- 3.2 A construção de um instrumento de análise das perguntas em aulas problematizadoras de física.....34*
 - 3.2.1 As categorias existentes, os Aspectos Discursivos do Ensino Investigativo e a elaboração de uma nova categorização.....40*

4. Metodologia de pesquisa.....48

- 4.1 A constituição metodológica e dos dados com base nas perguntas de Investigação.....50*
 - 4.1.1 Os limites dos dados e os procedimentos de conformação destes à análise.....52*
 - 4.1.2 Quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula de Física em que os alunos resolvem um problema?.....53*
 - 4.1.3 Que tipo de contribuição as perguntas podem trazer para um ensino que vise à AC?.....53*

5. Análise

- 5.1. Aula 2: o nascimento da Física Quântica.....55*
 - Momento 1: Organização da aula, lembrança das aulas anteriores e introdução da atividade.....56*
 - Momento 2: Retomada e discussão de conceitos e fenômenos ópticos: (interferência, efeito fotoelétrico).....57*
 - Momento 3: Investigando situações clássicas (luz sob ação da gravidade, interferência, efeito fotoelétrico, reflexão da luz) para aplicar um modelo explicativo.....59*

<i>Momento 4: Problematização: Se os dois modelos clássicos não dão conta de explicar todos os fenômenos, o que deve ser a luz?</i>	67
<i>5.1.1 Observações gerais acerca da aula 2</i>	71
<i>5.2 Aulas 10: Interpretações da Mecânica Quântica</i>	71
<i>Momento 1: Introdução da aula, lembrança do experimento do interferômetro e das figuras de interferência observadas</i>	73
<i>Momento 2: Exploração do fenômeno de interferência para os fótons individuais da experiência observada comparando as figuras formadas</i>	75
<i>Momento 3: O problema da explicação para a interferência para um único fóton no interferômetro</i>	78
<i>Momento 4: As quatro interpretações da mecânica quântica para a natureza da luz</i>	80
<i>Momento 5: As explicações das quatro interpretações para o padrão de interferência para apenas um único fóton</i>	83
<i>Momento 6: sistematização das explicações das quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton e introdução da atividade</i>	85
<i>5.2.1 Observações gerais acerca da aula 10</i>	87
6. Síntese interpretativa das análises	88
<i>6.2 As Perguntas de Problematização e os Indicadores associados</i>	91
<i>6.3 As Perguntas sobre dados e os Indicadores associados</i>	92
<i>6.4 As Perguntas exploratórias sobre processo e os indicadores associados</i>	93
<i>6.5 As Perguntas de sistematização e os indicadores associados</i>	94
<i>6.6 As perguntas dos alunos e suas contribuições na AC</i>	95
7. Considerações finais	103
<i>7.1 Quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula de Física em que os alunos resolvem um problema?</i>	105
<i>7.2 Que tipo de contribuição as perguntas podem trazer para um ensino que vise a AC?</i>	105
8. Conclusões	107
9. Referências Bibliográficas	108
ANEXO A	114
ANEXO B	121
ANEXO C	136

1.Introdução e Justificativa

1.1 A pergunta como forma de conhecer e de questionar

“Todo conhecimento é resposta a uma pergunta.”

Gaston Bachelard

Você é capaz de ouvir o som de duas mãos batendo palma, mas qual o som de uma das mãos? Quem veio primeiro, o ovo ou a galinha? Por que “já” quer dizer agora e “já já” quer dizer daqui a pouco? O que é o que é, que nasce em pé e corre deitado? Um delicioso sorvete tem gosto nele mesmo ou na sua língua? Quem roubou pão na casa do João? Por que esse nariz tão grande, vovozinha? Oh, e agora, quem poderá nos ajudar? Com quantos paus se faz uma canoa? Qual o dobro de 5? Quem descobriu o Brasil? De onde viemos? O que você quer ser quando crescer? Para onde vamos? Uma árvore que caiu em um bosque desabitado emitiu som ao cair? Que mundo deixaremos para os nossos filhos? Que filhos deixaremos para o nosso mundo? Quem somos nós? O que é aquecimento global? Como surgiu a vida? O mundo vai acabar no apocalipse? Como surgiu o universo? O que é o amor? O que é Ciência? O que é Energia Escura? Existe éter? Por que um corpo cai? Ser ou não ser? Como aprender Física?

Poderíamos estender a lista de perguntas a muitas e muitas folhas caso retomássemos na memória as perguntas marcantes pelas quais se deteve cada um de nós durante nosso desenvolvimento da vida diária. Como bem expressou o escritor mineiro João Guimarães Rosa na obra Grande Serão Veredas (1988, p. 312):

“Vivendo, se aprende; mas o que se aprende mais é só a fazer outras maiores perguntas.” (ROSA, 1988, p. 312)

Em um livro chamado “O que é a Pergunta?”, voltado à introdução da filosofia para crianças, o filósofo contemporâneo Mário Sérgio Cortella expõe a seguinte passagem na fala de um personagem (professor de filosofia) para um menino questionador:

“Perguntar é aceitar que não se sabe ainda alguma coisa e, com essa atitude, mostrar que se quer saber, em vez de fingir que já se sabe. Perguntar é a ponte que nos põe em contato com o novo, no lugar de ficarmos apenas repetindo o antigo. Perguntar leva até um território inédito a ser explorado, ou seja, a pergunta nos leva a terras desconhecidas, e, quando temos as respostas, ficamos mais cientes do mundo em que estamos. As respostas para alcançar curas de doenças, trazer ao mundo inovações e resolver problemas vieram das perguntas, e é desse modo que se criam novas soluções.” (Cortella, 2008, p. 08)

O filósofo alemão e estudioso da linguagem Martin Heidegger (2008) considera que a linguagem é um dos elementos mais característicos da espécie humana pela capacidade de raciocinar. Para Heidegger, a pergunta é, senão a essência da razão, uma forma de inspecionar o mundo, conhecê-lo. E esse é um aspecto basilar também da natureza da Ciência, da investigação científica.

A premissa da pergunta como forma de se colocar diante do desconhecido e de abrigar o novo tornou-se familiar também à filosofia, ao positivismo, ao cientificismo e ao próprio espírito científico na construção de sua episteme. Para ilustrar o que queremos expressar, buscamos um exemplo concreto:

Em meados de 2009, mergulhadores australianos encontraram na costa de seu país um objeto não identificado (figura 1). A pergunta que se faz diante deste ente desconhecido é uma pergunta nem sempre falada em voz alta ou externalizada, mas muito provavelmente feita no interior do pensamento de quem o vê:

Figura 1: objeto encontrado na costa da Austrália

<http://diariodebiologia.com/2010/12/blobfish-o-peixe-mais-feio-do-mundo/>

O QUE É ISSO?

A Ciência é uma das formas pelas quais podemos responder a essa pergunta, e com os conhecimentos construídos em seus campos, pode se estabelecer um processo de investigação em que, diante do desconhecido, lançam-se perguntas como: *Tem qual aspecto físico? É um ser vivo? Tem funções de organismos vivos? Que tipo de espécie pode ser?* Estes são exemplos de perguntas, entre outras tantas, para que se chegue a um veredicto acerca da classificação daquele ente.

Guardadas as devidas proporções dessa descrição – até certo ponto grosseira –, esse exemplo se aproxima de um processo de investigação científica em sua natureza. Em decorrência disso, a cada pergunta lançam-se métodos, experimentos e teorias para saber quando se trata de um ser vivo, quais as suas características e que tipo de classificação pode ser-lhe atribuída. Perguntar é parte da construção do conhecimento e o empreendimento humano chamado Ciência se vale de suas lógicas, seus métodos e seus empirismos para explorar as perguntas que emanam do imenso desconhecido que é o mundo. A pergunta é, portanto, um objeto epistêmico, ou como expressou Bachelard: “Todo conhecimento é resposta a uma pergunta” (2007, p. 12).

Quando falamos de conhecimento não nos restringimos à produção de conhecimento em seu fazer científico, artístico ou filosófico. Falamos também de onde o conhecimento se transmite, do espaço em que o conhecimento é experimentado e da escola como lugar em que este é apreciado, buscado, provocado. A sala de aula é um ambiente dinâmico no que se refere às interações entre alunos e seus pares, alunos e professores, e alunos e professores com os objetos de aprendizagem. O psicólogo russo Alexei Nikolaevich Leontiev contribui para essa reflexão em sua Teoria da Atividade na medida em que discute o psiquismo humano e as atividades, ações e operações realizadas pelo ser humano. Segundo compreendemos, os estudantes, quando se engajam em uma atividade, são estimulados por uma necessidade, um motivo. Isso os mobilizará na realização de uma ação. Essa ação, tanto para o investigador quanto para o aluno, pode ser a ação de perguntar. O motivo dá sentido à atividade humana desenvolvida e a atividade de aprender demanda uma multiplicidade de motivos, ações e operações.

Em um debate aberto entre o educador Paulo Freire e o filósofo Antônio Faundez - posteriormente compilado em um livro chamado “Por uma pedagogia da pergunta”, no qual ambos discutem diversos temas da educação na América Latina-, o primeiro dirá que um dos grandes atributos do estudante é a sua inquietação, a sua dúvida, a sua

curiosidade e estas devem ser tomadas pelo professor como desafios. Em um mimetismo teórico podemos arriscar que, para Freire, um dos grandes “motivos” (no sentido expresso por Leontiev) condutores na busca pelo aprendizado é a inquietude, a curiosidade. Para além dos motivos, Freire entra em uma busca pela “pedagogia da pergunta”, na qual esta manifesta, sobretudo, a inquietude do aluno e seu engajamento em conhecer e questionar as coisas do mundo e os seus mecanismos. E não se trata apenas disso: perguntar é também uma forma de engajamento político, pois desestrutura o pilar do autoritarismo instaurado na escola e na sociedade contemporânea. É uma das formas de se tornar crítico e estabelecer novas formas de conduta perante a vida. Nas palavras de Freire:

“A curiosidade do estudante às vezes pode abalar a certeza do professor. Por isso é que, ao limitar a curiosidade do aluno, a sua expressividade, o professor autoritário limita a sua também. Muitas vezes, por outro lado, a pergunta que o aluno, livre para fazê-la, faz sobre um tema, pode colocar ao professor um ângulo diferente, do qual lhe será possível aprofundar mais tarde uma reflexão mais crítica.” (1985, p. 23)

Lorencini (1994), em uma pesquisa sobre a formulação de perguntas em sala de aula, faz um levantamento dos trabalhos sobre esse tema e destaca, entre outros objetivos, o estímulo à curiosidade dos estudantes. Em suas palavras:

“A utilização de perguntas em sala de aula tem como principais objetivos aqueles que aparecem dispersos nos trabalhos de Mello Carvalho (1972), Harley (1973), Cols (1977), Sant’anna (1979) e Nérici (1989), e que podem ser resumidos a seguir: estimular a curiosidade e a capacidade criativa dos alunos; aumentar o interesse e a motivação para o conhecimento; desenvolver raciocínio, o senso crítico e a autoconfiança dos alunos; introduzir novos conceitos e manter a atenção dos alunos.” (Lorencini, 1994, p. 107)

Defendemos a busca por um ambiente em que as perguntas são bem-vindas, tanto como forma de buscar o conhecimento, quanto como forma de estabelecer novas relações com os objetos de aprendizagem e como um engajamento mais questionador em relação ao mundo. Neste trabalho, quando falamos em perguntas do professor de Física em aulas investigativas de Física, incorporamos o fazer científico contido na construção do conhecimento Físico, as atividades problematizadoras e o espírito questionador dos alunos diante das questões e problemas que lhes aparecem. Isso faz com que os seus motivos os conduzam a uma busca coletiva da aprendizagem e da forma de ver o mundo da Física. Problematizar é possibilitar ao estudante criar, pensar,

explorar toda e qualquer forma de conhecimento e objetos de seu pensamento na busca pela solução. O espaço de sala de aula é um espaço de construção coletiva onde os significados são estabelecidos. Esse processo de significação é também parte importante do trabalho ao olharmos as perguntas em sala de aula, pois o professor, em sua ação discursiva, pode auxiliar e modificar o curso de aprendizagem dos alunos.

1.2 A pergunta como manifestação discursiva na forma de aprender Física

Aprender é uma experiência primordialmente coletiva. De acordo com o psicólogo russo Lev Vygotsky (2000), é por meio das interações com os outros, com os pares e com os mais experientes que o conhecimento se constrói. Para nós, esse conceito de interação revela um traço tipicamente humano, que é a capacidade de articular a linguagem para produzir essas interações. E a linguagem não é um ente solitário, mas sim um conjunto de representações e formas de expressão que é construído e significado no seio da interação social.

Vygotsky (2000) expõe em seu livro “Pensamento e linguagem” que: *“o homem, enquanto dá forma à natureza, confere significação à forma nova, o que lhe permite transformar a si próprio”* (p. 103). Para o círculo de estudo do também russo Mikhail Mikhailóvitch Bakhtin (2009), filósofo da linguagem de filiação marxista, em seu livro “Marxismo e filosofia da Linguagem”, *“A palavra é resultante de um consenso entre indivíduos socialmente organizados, sua forma é condicionada tanto pelas relações sociais quanto pelas interações”* (p. 99). Para os autores, há uma relação íntima entre o desenvolvimento da linguagem e o desenvolvimento do pensamento, ou seja, é por meio da estruturação da linguagem que se concebe um significado, e é por meio das articulações desses significados que a aprendizagem se dá em relação ao mundo. Esse pensamento é amplamente discutido desde meados da década de 1960, com uma linha de conduta pedagógica chamada “construtivismo” de caráter sócio-interacionista, exatamente pela necessidade de os sujeitos colocarem suas linguagens em torno de um objeto de conhecimento e negociarem os significados para ele.

Concebendo a sala de aula como um ambiente rico para possibilitar as significações e as construções conceituais, as perguntas dos alunos e/ou dos professores se encaixam nesse ambiente como inerentes à própria forma de se buscar o

conhecimento. Para nossa pesquisa, entretanto, devemos precisar como acontecem essas interações e como entendemos a pergunta circunscrita ao ensino de Física e ao ensino de Ciências. Desse delineamento emerge a necessidade de estudar as interações discursivas que ocorrem em sala de aula, a forma como alunos e professores constroem um sentido para um conceito e como as perguntas participam desse movimento de aprendizagem.

A educadora brasileira Isabel Martins (1999) expõe que aprender Ciências exige o emprego de uma pluralidade de meios de comunicação de forma coordenada e a construção de novas significações resulta também da interação dos diversos sistemas de representação. Para ela, a forma de se conseguir essa pluralidade de meios de comunicação em sala de aula passa necessariamente pela interação entre os sujeitos envolvidos. Para que isso ocorra, as atividades implementadas devem privilegiar as discussões, os debates, as exposições de ideias e percepções dos alunos diante de um conceito ou fenômeno. Em suma, devem ser problematizadoras.

O professor tem papel importante em problematizar o conteúdo e incentivar o uso da linguagem científica em seu trabalho docente. Em concordância com esses pressupostos amplamente estudados nesta pesquisa, buscaremos explorar a **pergunta** feita pelo professor na construção dos conceitos em uma forma problematizadora e participativa de aprender Física. A pergunta pode ser tomada como objeto epistêmico do conhecimento e, além disso, uma ferramenta discursiva capaz de provocar os alunos e ajudá-los a desenvolver habilidades no modo de pensar da Física. Por isso, entendemos que a pergunta deve ser melhor entendida.

Como parte do léxico cotidiano, fazemos perguntas a vida inteira, ouvimos perguntas, falamos, pensamos por meio do conjunto semiótico do nosso sistema de comunicação. É preciso salientar, entretanto, que o professor, na condição de agente promotor da aprendizagem, na forma como concebemos o ensino da Física, deve levar a ação de perguntar aos seus alunos como dotada de uma consciência.

Ao perguntar, o professor pode ou não ter a consciência do seu intento com a ação. E para a sala de aula, esse intento deve remeter aos objetivos pedagógicos na construção de conhecimento, ou seja, àquilo que é pretendido na atividade, como aprendizagem para os alunos. Entretanto, a ação consciente de perguntar, alicerçada nos objetivos pedagógicos, muitas vezes acaba por tornar-se uma operação (LEONTIEV, 1978): um ato automático, desprovido de consciência, realizado comumente como outras tantas operações diárias, como escovar os dentes, escrever na lousa ou fazer a chamada.

E, quando há uma operação sem consciência, Leontiev caracteriza isso como alienação.

Em um estudo quantitativo voltado para a verificação das ocorrências de perguntas em aulas de Física, Hargie (1983, apud MENEZES, 1996) observou as aulas de diferentes professores em seis classes de séries equivalentes ao nosso Ensino Médio e verificou que esses professores fazem, em média, uma pergunta a cada 72 segundos quando discursam. Destas, 38% não são respondidas pelos alunos e a maioria implica somente no resgate da memória, sendo que somente a minoria demanda reflexões para a construção de novos saberes. A pergunta se torna uma operação corriqueira para confirmar algo, ou alguma forma de vício no discurso do professor.

Ademais, as pesquisas em ensino ainda têm subsidiado pouco a prática dos professores com relação a essas interações de sala de aula, de modo que estes continuam realizando perguntas em suas aulas de forma operacional. Sob esse aspecto, Carvalho e Gil-Pérez (1998) indicam algumas ideias de senso comum tidas por professores, oriundas muitas vezes da própria vivência escolar e que colaboram para uma visão simplista e tradicional do ensino. De acordo com os autores, existem concepções espontâneas por parte dos professores, como a percepção de que ensinar é fácil ou que é uma mera transmissão de conhecimentos e conteúdos; também indicam a existência de um pensamento entre alguns professores de que, em sala de aula, o professor é o centro do conhecimento e, portanto, invoca discursos solitários sob aspectos do conteúdo que não tomam sentido. Suas perguntas acabam, na maioria das vezes, sendo respondidas por eles mesmos, não se configurando, portanto, num processo dialógico (BAKHTIN, 2000).

Esse tipo de automatismo, em que o professor responde a si mesmo, pode ser visto como cultural. Jiménez-Aleixandre *et al* (2000) apontam para o “fazer escola”, no qual professores e alunos se encaixam em uma série de comportamentos e normas, ambos isentos de reflexão. Por vezes, os alunos entendem, devido ao modo como sua experiência escolar foi co-construída, que eles devem fazer o que o professor quer. E em uma cultura escolar com grande ênfase em resolução de exercícios e com poucos problemas, os alunos tendem a aplicar técnicas, normalmente relacionadas ao conteúdo desenvolvido naquele momento. Essa cultura escolar, impregnada na formação do aluno desde o início, faz com que ele pare de questionar, ou seja, desestimula a pergunta em sala de aula. Na mesma linha, Yore *et al* (2003) indicam que as crianças no início de sua vida escolar realizam muitas perguntas sobre todas as coisas que estudam, e durante a escolaridade perdem o hábito de perguntar, se centrando na obtenção de respostas ou

nos produtos finais do conhecimento.

Pensamos e buscamos neste trabalho uma forma diferente de encarar o aprendizado em Física, pautada nas ações questionadoras dos alunos e dos professores, em um processo de investigação e de problematização, visando à alfabetização científica (AC)¹. Essa visão e defesa do ensino de Física se faz presente e importante neste contexto contribuindo para uma formação questionadora, investigativa, argumentativa e crítica, características centrais do fazer Ciência. E é por meio dessa forma do fazer científico ou cultura científica que entendemos o estudo da pergunta como pertinente à formação de cidadãos.

No trabalho de investigação aqui apresentado buscamos coerência com a linha de pesquisa do nosso grupo de pesquisa - LaPEF² - e de outros grupos cujos trabalhos estão direcionados para a análise das interações discursivas em contextos formativos. Buscamos um ensino de Física no qual os alunos participem de forma ativa da construção de seus conhecimentos, saibam argumentar e se posicionar diante de um problema e saibam analisar e diferenciar argumentos no seu dia a dia, características necessárias e que devem ser trabalhadas com os alunos se almejamos a alfabetização científica.

Analisando as interações discursivas em aulas de Física em que os alunos resolvem um problema por investigação, nosso objetivo nesta pesquisa é compreender como as perguntas ocorrem; qual é o seu papel nas interações; verificar a ocorrência em aulas de Física; entender como elas podem promover a argumentação dos alunos; subsidiar a alfabetização científica; e categorizá-las com base nesses pressupostos.

E se propomos uma investigação sobre a pergunta, se faz necessário explicitar nossas perguntas de pesquisa centrais, que nos porão em frente ao novo e ao desconhecido, que nos moverão ao processo de busca aqui apresentado. E nossas perguntas são: *Quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula de Física em que os alunos resolvem um problema? Que tipo de contribuição as perguntas podem trazer para um ensino que vise à AC?*

¹ Neste trabalho, os referiremos ao termo “alfabetização científica” também com a sigla AC

² LaPEF: Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP.

2. Referencial teórico da pesquisa

2.1 O que consideramos como pergunta?

“Pergunta tão rica, precisava andar por aí mendigando por respostas?”

Paulo Leminski

Diante do discorrido na introdução, e considerando os sentidos atribuídos socialmente à palavra “pergunta”, esta pode apresentar um caráter polissêmico e muitas vezes ser confundida como sinônimo de outras palavras da língua portuguesa como, por exemplo, a palavra “questão”; e pode ser confundida pelos próprios estudos acadêmicos sobre interações discursivas com os termos “enunciação” ou “iniciação”. Cientes dos sentidos próximos usuais na vida cotidiana entre as palavras “pergunta” e “questão” defenderemos que a primeira será o objeto conceitual do trabalho e a segunda representará o espírito indagador e questionador ao qual Paulo Freire (1985) se refere e que incorporamos como parte da formação do educando.

As origens etimológicas, apesar de descentralizadas de seus contextos sociohistóricos de significação, oferecem uma forma diferente de ver as palavras envolvidas na pesquisa. Em uma consulta, ali por volta do P e do Q encontramos as seguintes origens para as palavras:

- **Questão** – substantivo feminino. Do latim, *quaestionem*. A questão. Negócio, pendência, demanda, briga, disputa, controvérsia. (BUENO, 1966, p. 3299)
- **Pergunta** – Substantivo feminino: Variação, perguntar. Do latim *percontari*, verbo da linguagem náutica significando sondar a profundidade dos mares para julgar o calado e evitar que o navio encalhasse. (BUENO, 1966, p. 2975)

Não devemos considerar as definições como cabais à nossa pesquisa, pois em dado momento as origens das palavras tiveram sentidos diferentes. Das línguas oriundas majoritariamente do Latim, como o Português, o Espanhol, o Catalão, o Galego, o Francês, o Italiano e o Romeno, apenas as três últimas não têm em seu idioma uma raiz

próxima de “*percontari*”. O Francês e o Italiano usam a questão como sinônimo e o romeno, por ser uma língua muito influenciada por outras, traz uma outra palavra.

Há, como podemos ver, uma pequena diferença nessas duas palavras na forma como as entendemos hoje e como elas se constituíram. As duas têm raízes linguísticas no Latim, uma das línguas-mãe do Português e fundamentalmente difundida durante o Império Romano. Atreladas à cultura, as duas encontram ligação nos modos e costumes desse povo, o que faz delas pouco distintas entre si. *Quaestionarem* surge como “a questão” (com o artigo antecedendo), a questão a ser resolvida, a pendência, o problema, sentido ainda hoje utilizado e que tomaremos para referir a uma ação questionadora, não passiva. A associação entre a questão para se resolver e um debate decorrido de tal questão deve ser salientada, de modo que questionar é também provocar o debate em torno da questão. Por sua vez, perguntar, no Latim, é investigar se o mar está fundo o suficiente para navegar. Esse sentido atrelado à navegação se assemelha ao processo de investigação acerca do desconhecido na medida em que expõe procedimentos para se descobrir algo oculto. É um método de investigar a profundidade, um diagnóstico; busca conhecer algo não evidente e, nesse sentido, se aproxima muito mais da pergunta como manifestação da natureza epistemológica. A pergunta propulsora para o conhecimento, que abre espaço para a investigação.

Esta não é uma justificativa baseada somente na etimologia. Trata-se de uma diferenciação dos sentidos que usaremos para as palavras “pergunta” e “questão” neste trabalho. O sentido da palavra “pergunta”, o qual tomaremos como conceito, ganha uma nova forma e significado no seio da investigação que propomos e é preciso buscar o contexto em que estamos para assim ressignificá-la diante do ensino investigativo de Física e das interações discursivas em sala de aula.

2.2 Ressignificando a pergunta

No sentido buscado para a pergunta neste trabalho, o filósofo da linguagem russo Bakhtin tem um papel central no entendimento da pergunta na medida em que elaborou, junto com os colegas de seu círculo de estudos, duas unidades imprescindíveis para compreender a linguagem e a formação de significados: a teoria da enunciação e do conceito de dialogia.

Para Bakhtin e seus colaboradores as palavras carregam consigo signos que, na

interação sócio-histórica, representam significados compartilhados. Como os sujeitos que compartilham o mesmo código significam as palavras ao longo da vida e da aprendizagem, e aprendem também a pensar por meio desses signos, nasce daí uma dicotomia natural entre o pensamento, ou fala interna, e as generalizações, ou falas externas. A fala interna é silenciosa, articula a própria consciência humana e é intermediada pelos signos. A fala externa representa um consenso entre os indivíduos socialmente organizados. Quando o sujeito fala ou externaliza, ele o faz por meio de palavras e se vale da situação em que se expressa. Nesse sentido, ele emite um enunciado. E nas palavras de Bakhtin: *“enunciado é a forma na qual a palavra transita entre o interno e a situação social”* (2009, p. 79).

A teoria da enunciação diz que um enunciado é o modo principal pelo qual as pessoas se comunicam, pois quaisquer interações verbais, e também aquelas em sala de aula, consideram um fluxo de enunciados ou uma cadeia enunciativa. Para que um enunciado seja compreendido pelo ouvinte, ele deve conferir um significado orientado pelo horizonte conceitual de quem fala considerando as palavras e signos de quem diz e de quem ouve. Acostumamo-nos a ouvir expressões no universo da sala de aula ou no convívio social como: *“o professor sabe muito, mas não conseguimos compreender o que ele fala”* ou *“eu disse uma coisa e você entendeu outra”*. De certa forma, este empirismo cotidiano nos revalida essa Teoria da Enunciação no comum e popular, pois muitas vezes a mesma enunciação em uma conversa não tem o mesmo significado para a pessoa que fala e para a pessoa que ouve. Cada indivíduo constrói uma gama de significados para as palavras ao longo da vida e nas enunciações elas precisam ser reconstruídas. Por essa razão devemos introduzir o segundo conceito importante de Bakhtin: o de dialogia.

Percebamos que uma relação de troca enunciativa constitui um diálogo. Um diálogo considera o escopo de significados construídos sociohistoricamente por cada indivíduo no momento de uma interação. Cada sujeito atribui à sua fala um sentido, e quando as pessoas dialogam, esses sentidos e signos contidos nos enunciados estão sendo trocados.

Bakhtin chama de “voz” essa expressão do discurso interno. E em uma cadeia enunciativa como a de sala de aula, dependendo do contexto em que se criam, os significados contidos nas vozes vão evoluindo e se reconstruindo. Por isso dissemos linhas acima que precisamos apresentar o contexto de nossa pesquisa para ressignificarmos a palavra “pergunta”. Nos termos propostos por Bakhtin:

“compreender a formação dos contextos implica adotar o ponto de vista de várias vozes para perscrutar as formações enunciativas de cada um de seus participantes e identificar como evoluem os sentidos e os significados nos seus universos.” (2009, p. 121)

Um importante dado desses conceitos propostos por Bakhtin em relação à enunciação e à dialogicidade é que, por a fala ser interna e externa, todo enunciado irá, necessariamente, esperar uma resposta do interlocutor. Ou seja, quando realizamos um enunciado em um diálogo, as nossas palavras causam aos nossos ouvintes um estímulo do discurso interno no processo de compreensão do que foi dito. Isso retrata um problema nem sempre notado em sala de aula, em que muitas vezes o aluno não fala em uma discussão ou cadeia discursiva em andamento, mas as vozes emergentes lá podem lhe causar um diálogo interno provocado pelos enunciados. Mesmo que os enunciados NÃO se constituam de perguntas, podem causar uma resposta ao ouvinte. Aqui, podemos diferenciar o enunciado de uma pergunta.

De acordo com Bakhtin (2009), uma pergunta pertence à esfera do enunciado. Ele se refere à “questão completa” com modo da enunciação. Nesse sentido, a enunciação presente na pergunta é uma iniciação à cadeia enunciativa que contém, mais que as outras, um caráter responsivo. Esse conceito de responsividade é importante e faz parte do caráter dialógico do discurso defendido por Bakhtin. Toda conversa pressupõe uma cadeia enunciativa e o caráter responsivo dos enunciados significa que sempre causarão ao interlocutor a busca por uma resposta que continue a cadeia. Por mais que um professor em sala de aula faça uma avaliação positiva cabal sobre certa colocação, as enunciações podem prosseguir na cabeça dos alunos em um diálogo com seu pensamento. A voz do discurso do locutor ressoa e se mistura ao pensamento do aluno em um diálogo interno.

Embora o caráter responsivo seja inerente à enunciação, faz-se necessário diferenciar responsividade de resposta a uma pergunta: responsividade decorre de uma interação verbal dialogando as vozes presentes, ou seja, em uma cadeia enunciativa, ao se ouvir a fala do interlocutor, há uma responsividade na assimilação das informações e uma articulação interna que pode virar uma fala externa; já a resposta a uma pergunta é a fala externa (repleta de signos). Para nós, em consonância com Bakhtin, a pergunta se diferencia do enunciado pelo seu propósito, e nesta pesquisa o propósito é considerado didático. Desse modo, podemos considerar neste trabalho a seguinte definição de pergunta por nós elaborada.

Trata-se de um instrumento dialógico de estímulo à cadeia enunciativa. Sendo assim usado com propósito didático dentro da história da sala de aula para traçar e acompanhar a construção de um significado e de um conceito.

Devemos ressaltar três palavras imprescindíveis contidas nessa definição para cercar o sentido da pergunta utilizado neste trabalho: estímulo, instrumento e propósito. Ao apontarmos estímulo, estamos enfatizando que, para além da simples enunciação, a pergunta deve necessitar de um estímulo à resposta. E este pode levar a uma reflexão ou externalização da resposta. É, portanto, uma característica muito marcante da pergunta sob o ponto de vista da teoria da enunciação.

Quando falamos em instrumento e propósito, nos apropriamos dos trabalhos do pesquisador norte americano James Wertsch, cuja obra nasceu da convivência com os grupos de neovigotskiano e neobakhtinianos na Rússia e também com os estudos de Leontiev em sua Teoria da Atividade. Em seu livro “Mente e ação” (1978), Wertsch lança a Teoria da Ação Mediada que congrega os princípios de Vygotsky, Bakhtin e Leontiev. Wertsch olhará para os aspectos semióticos das enunciações e, principalmente, para o processo de internalização. Os sujeitos internalizam os significados contidos nas enunciações por meio de ferramentas culturais e do diálogo incessante das vozes presentes no contexto. O processo de significação, além da interanimação de vozes dentro dos enunciados, ocorrerá por meio de ferramentas emprestadas de um grupo social e, portanto, sujeitas ao rumo histórico-cultural da situação.

Para ele, a ação tem cinco características importantes: 1) o propósito - qual o motivo da ação, o que se quer com ela; 2) o cenário da ação - qual o lugar, o auditório e o contexto; 3) quem é o agente - quem fala, sua voz; 4) qual é a ação - sua natureza e característica; e 5) quais as ferramentas usadas na ação. A colocação e a visão de “ferramenta”, “ação” e “propósitos” presentes no trabalho de Wertsch traz uma valorosa contribuição no sentido da definição da pergunta como será trabalhada em nossa pesquisa.

A pergunta compreende aqui um estímulo ainda maior da cadeia enunciativa em um contexto didático. Na visão de Wertsch, a fala e a pergunta são ações, e a palavra é

uma ferramenta. O **propósito** da ação intencional de perguntar é muito importante, pois é ele que evidencia o que se pretende. A cena, o agente, o ato e a ferramenta estão circunscritos também nessa ação, mas a característica didática da pergunta em sala de aula impõe um propósito à ação de perguntar. Nesse sentido, deve-se considerar a relevância ao se tratar das perguntas. E, se consideramos o propósito da ação de perguntar nos termos definidos até aqui, devemos responder também, para esta pesquisa, quais são os nossos propósitos, o que pretendemos em um ensino de Física para que possamos estudar a pergunta dentro deste prisma constituído da nossa visão de ensino e educação.

2.3 O ensino Investigativo de Física, a alfabetização científica e a pergunta

“No fundo, é correta a atitude de quem não se sente dono da verdade nem tampouco objeto acomodado do discurso alheio que lhe é autoritariamente feito. Atitude correta de quem se encontra em permanente disponibilidade a tocar e a ser tocado, a perguntar e a responder, a concordar e a discordar. Disponibilidade à vida e a seus contratempos. Estar disponível é estar sensível aos chamamentos que nos chegam, aos sinais mais diversos que nos apelam, ao canto do pássaro, à chuva que cai ou que se anuncia na nuvem escura, ao risco manso da inocência, à cara carrancuda da desaprovação, aos braços que se abrem para acolher ou ao corpo que se fecha na recusa. É na minha disponibilidade permanente à vida a que me entrego de corpo inteiro, pensar crítico, emoção, curiosidade, desejo, que vou aprendendo a ser eu mesmo em minha relação com o contrário de mim. E quanto mais me dou à experiência de lidar sem medo, sem preconceito, com as diferenças, tanto melhor me conheço e construo meu perfil.”

Paulo Freire

Na defesa e justificativa deste trabalho, destacamos a pergunta como objeto epistêmico na busca pelo conhecimento, como objeto discursivo no processo de significação de um conceito, e como forma de questionar o mundo e levar a uma formação crítica. Esse traço concernente à formação crítica está presente na forma como

enxergamos a formação de um sujeito. Os propósitos formativos são características cruciais, às quais se reportam o comportamento discursivo do professor em sua ação de perguntar.

O educador Paulo Freire em seu livro “Pedagogia da Autonomia” (2007) traça uma defesa contundente da formação autônoma do educando para a compreensão crítica do mundo. Em suas palavras, o professor, em sua ação docente, deve primar pela curiosidade, pelo diálogo, pela criticidade, pelo sentido ideológico.

Acreditamos nesses princípios como forma de educar para uma emancipação intelectual, para um engajamento no mundo consciente de suas desigualdades, suas mazelas sociais. Tais características destacadas por Freire são promotoras do desenvolvimento de uma curiosidade crítica, insatisfeita, **indócil**. Curiosidade com que podemos investigar e nos defender dos “irracionalismos” decorrentes ou produzidos por certo excesso de “racionalidade” de nosso tempo.

O professor deve estimular a pergunta, a curiosidade contida nela e a reflexão crítica sobre a própria pergunta. Deve saber o que se pretende com esta ou com aquela pergunta em lugar da exposição excessiva. A atividade docente deve buscar a curiosidade no lugar do *“puro vai-e-vem de perguntas e respostas, que burocraticamente se esterilizam”* (FREIRE, 2007, p. 84).

Guardando uma similitude de idéias com Bakhtin, mesmo tendo desenvolvido trabalhos independentes, Paulo Freire – também considerado por muitos um materialista dialético – considera também o sentido da dialogicidade dizendo que esta não nega a validade de momentos explicativos em que o professor expõe ou fala sobre algo. Para ele, para além do sentido do diálogo de fala interna, a dialogicidade é, sobretudo, uma condição de igualdade, uma postura dialógica entre professor e alunos, aberta, curiosa, indagadora e não apassivada, enquanto fala ou enquanto ouve. O que importa é que professor e alunos se assumam epistemologicamente curiosos. *“O bom professor”*, defende ele:

“...é o que consegue, enquanto fala, trazer o aluno até a intimidade do movimento de seu pensamento. Sua aula é assim um desafio e não uma ‘cantiga de ninar’. Seus alunos cansam, não dormem. Cansam porque acompanham as idas e vindas de seu pensamento, surpreendem suas pausas, suas dúvidas, suas incertezas. Antes de qualquer tentativa de discussão de técnica, de materiais, de métodos para uma aula dinâmica assim, é preciso, indispensável mesmo, que o professor se ache ‘repousado’ no saber de que a pedra fundamental é a curiosidade do ser

humano. É ela que me faz perguntar, conhecer, atuar, mais perguntar, re-conhecer.” (FREIRE, 1985, p. 84)

Creemos que a Física e as Ciências como áreas do conhecimento humano devam servir a esses propósitos também; devam possibilitar uma forma de leitura do mundo que ofereça possibilidades de olhar, entender e questionar os empreendimentos científicos e tecnológicos e suas relações sociais e ambientais na sociedade de hoje. O ensino de Ciências deve servir como meio de investigação, possibilitando habilidades do pensar científico que promovam uma criticidade indócil como forma de pensar um problema, de elaborar hipóteses e justificativas, de usar a argumentação como capacidade de expressão da opinião e de convencimento.

Na literatura da área, este modo de olhar o ensino de Ciências que estamos buscando encontra convergência na perspectiva de um ensino chamada de alfabetização científica, ou enculturação científica, ou letramento científico, de acordo com traduções ou discussões semânticas das escolas de pensamento. Para nós, a escolha do termo alfabetização científica se dá pela proximidade com o sentido de alfabetização defendido por Paulo Freire e do qual nos apropriamos. Para ele, a alfabetização empreende um domínio consciente de algo e resulta em uma autoformação e uma postura interferente do homem em seu contexto (FREIRE, 2007). Esse conceito foi usado por Freire para a alfabetização de adultos nos processos de escrita e leitura. Entendendo as Ciências como uma forma de ver e agir no mundo, alfabetizar cientificamente é possibilitar este processo no qual, por meio das Ciências, se interfere e se conhece o que nos rodeia.

A alfabetização científica vê o ensino sob uma perspectiva problematizadora e participativa, em que os alunos utilizam habilidades típicas das Ciências, ou seja, uma forma científica de pensar para intervir no mundo. O alfabetizado cientificamente, assim como qualquer cientista, não precisa saber tudo sobre as ciências, mas deve ter conhecimentos suficientes de vários campos delas e saber como esses estudos se transformam em adventos para a sociedade. Ao mesmo tempo, ele é influenciado pelas relações políticas, buscando compreender de que modo tais conhecimentos podem afetar sua vida e a do planeta, e participa das discussões dos problemas que afetam a vida e a sociedade.

Esse sentido problematizador aparece em nosso trabalho de forma basilar no entendimento da ação de questionar e perguntar. Buscaremos, do ponto de vista didático, os pressupostos de que a ação de perguntar, conforme definida por nós, carrega consigo

uma problematização. Este conceito de problema é melhor delimitado por Gil-Pérez *et.al* (1992), para quem um problema consiste de situações dificultosas, para as quais não existem soluções fechadas; uma situação, quantitativa ou não, que pede aos sujeitos envolvidos uma solução não evidente. Ainda para Gil-Pérez *et al (op cit.)*, o modo pelo qual um cientista resolve um problema é pela investigação científica.

Pensamos que um ensino escolar cujo propósito seja a promoção da AC para alunos de qualquer um dos níveis da educação básica deve estar baseado em um currículo que permita o ensino investigativo, baseado em atividades problematizadoras das Ciências, levando os alunos a pensar sobre um problema, a criar estratégias e planos de ação para resolvê-lo e a organizar informações e conhecimentos novos e já existentes que lhes permitam explicar fenômenos. Como nos lembra Vygotsky (2000), a construção do conhecimento se dá mediante as partilhas de significados, com a ajuda dos pares e do professor, de modo a diminuir a distância entre o que os educandos sabem previamente e o que conseguem resolver sem a ajuda de ninguém. Esta é uma parte do processo que Vygotsky dá o nome de zona do desenvolvimento proximal (ZDP). Assim, coletivamente, os estudantes avançam na construção de um conhecimento novo. Uma atividade problematizadora coloca em jogo as concepções prévias dos alunos, um problema motivador de investigação e uma ação conjunta com auxílio do professor para buscar as formas e meios de resolvê-lo, chegando sempre a um novo significado compartilhado pelo grupo.

E é por meio da linguagem e das interações discursivas que professores e alunos constroem as bases para um ensino que privilegie a ciência como uma cultura e vise à alfabetização científica. Além disso, é importante ressaltar que a adoção dos referenciais sobre o uso de diferentes linguagens em sala de aula nos permite compreender de que modo a construção do conhecimento é mediada pelo professor. Contudo, parece-nos verdadeiro que a atenção às interações discursivas em sala de aula apenas faz sentido quando explicitamos quais são nossos objetivos com o ensino da Física nas salas de aula de Educação Básica. A aprendizagem científica é também um processo de transição dialógica de uma linguagem abstrata e comum para uma linguagem científica com suas características particulares. Sendo que as linguagens não são excludentes e sim complementares em vista de suas significações simbólicas.

“É apenas pela interação em curso que o professor e os alunos têm a oportunidade de comparar interpretações do que estão dizendo uns aos

outros e, assim, aproximam-se gradualmente de significados funcionalmente equivalentes.” (VYGOTSKY, 2000. P. 13)

Com um conjunto de linguagens específicas baseadas na lógica, na matemática, em gráficos, fluxos, entre outros elementos, a Física dialoga essas linguagens em torno de um fenômeno físico natural. E a apreensão e articulação destas faz parte também do processo de significação dado no seio do grupo em que são trabalhados os problemas do conhecimento físico. Nas palavras de Driver e Newton (1997), grandes expoentes da pesquisa em ensino de Ciências:

“A Ciência é muito mais do que um conjunto de conteúdos específicos ordenados em teorias. Ela deve ser entendida como uma cultura, que tem regras, valores e linguagem próprias.” (DRIVER e NEWTON, 1997, p. 5)

A partir do fim da década de 1980, o estudo sobre as interações discursivas e da linguagem tem crescido em diversas áreas do conhecimento. No ensino de Ciências, são expoentes os trabalhos de Mortimer e Scott (2002), Lemke (1998), Driver e Newton (1997), Nascimento e Vieira (2009), Sasseron e Carvalho (2008), Roth (2003); Jiménez Alexandre *et al* (2000), Martins *et al* (1999); entre outros. Todas essas pesquisas acordam sobre a importância da linguagem e das interações discursivas em consonância com as perspectivas construtivistas de aprendizagem e com uma visão mais ampla sobre o sentido de se ensinar Ciência como uma cultura, como um modo de pensar e agir na sociedade - visão que se faz presente nos principais currículos mundiais de ensino de Ciências (RODRIGUES e BORGES, 2008).

Um conceito que se sobressai no bojo das investigações em ensino de Ciências com a perspectiva da alfabetização científica é o de argumentação. Trata-se de uma habilidade central propiciada também pelos saberes científicos e que promove ao aluno as condições de criticidade e reflexão acerca das questões problemáticas no campo do conhecimento e na vida social. A pesquisadora galega Maria Pilar Jiménez-Aleixandre, referência na pesquisa em ensino de Ciências, ressalta o raciocínio argumentativo como relevante para o ensino de Ciências, já que um dos fins da investigação científica é a geração e justificação dos enunciados e ações encaminhadas para a compreensão da natureza. Sendo assim, o ensino de Ciências deveria dar a oportunidade de desenvolver, entre outras, a capacidade de raciocinar e de argumentar.

Lucia Helena Sasseron, pesquisadora dedicada às questões de argumentação em ensino e Ciências, destaca a argumentação como *“todo e qualquer discurso em que aluno e professor apresentam suas opiniões em aula, descrevendo ideias, apresentando hipóteses e evidências, justificando ações ou conclusões a que tenham chegado, explicando resultados alcançados”* (SASSERON, 2008, p. 53). Esta é uma forma de ampliar o diálogo que defendemos em sala de aula e um meio pelo qual o conhecimento físico pode auxiliar o desenvolvimento das habilidades argumentativas. É, sobretudo, o que buscamos como propósito no ensino de Física.

No trabalho de sala de aula, quando falamos em alfabetização científica na importância da problematização e da argumentação, estamos pensando e organizando tais perspectivas dentro de uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) - um conjunto ordenado de atividades investigativas planejadas com um problema a ser resolvido e que envolvem a argumentação no processo de construção do conhecimento.

Para Azevedo (2009), as atividades investigativas sucedem situações problematizadoras. Os estudantes devem se envolver na investigação; o problema posto, não é do professor, e sim dos estudantes, que devem perceber o problema e assimilá-lo de modo que a buscar procedimentos e novos conhecimentos com a ajuda do professor e de seus colegas. Esta é uma participação ativa do aluno em seu próprio processo de atividade.

Azevedo enumera uma série de vantagens e características das atividades investigativas, como: lidar com um problema; refletir a relevância dele; potencializar as análises qualitativas; elaborar hipóteses como forma de solução; analisar resultados; refutar hipóteses; ressaltar o papel da comunicação e do debate na construção científica; ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico. Como dissemos anteriormente, atividades investigativas em torno de um problema têm um grande potencial para promover a aprendizagem dos alunos em Ciências.

Utilizaremos neste trabalho o termo SEI para nos referir a essas atividades investigativas que promovem a alfabetização científica. A sigla foi cunhada no trabalho de Carvalho (2011), no qual a autora, buscando explicitar as formas como o sujeito constrói o conhecimento científico e como se constrói o conhecimento na escola, utiliza os referenciais piagetiano e vigotskyano, respectivamente, e enumera alguns aspectos fulcrais presentes em uma SEI: a participação ativa do estudante; a importância da interação aluno-aluno; o papel do professor como elaborador de questões; a criação de um ambiente encorajador; o ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala

de aula; o conteúdo (o problema) como algo significativo para o aluno; a relação Ciência, Tecnologia e sociedade; e a passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica.

Considerando tais perspectivas para o ensino de Ciências, quando falamos em investigar a pergunta do professor em aulas investigas de Física (dentro de SEIs) estamos apostando em uma perspectiva de educação crítica, antes de tudo, em um ensino de Física que carrega o germe da alfabetização científica. Falamos também do potencial discursivo mobilizado em sala de aula e como o professor poderá lidar com sua ação discursiva de modo a aproximar os alunos da zona em que a construção dos significados e conceitos se dará. A pergunta tem, acima de tudo, um papel na promoção do ensino em que acreditamos: consonante com as mais diversas linhas de pesquisa mundiais e profícuo para a sociedade vigente, com uma possibilidade questionadora do mundo da mesma forma como se aceita a curiosidade epistemológica.

Antevemos, todavia, que, ao desenvolvermos uma categoria de análise para classificar e tipificar as perguntas feitas pelos professores em sala de aula, levamos, na sombra dessa categoria, nossos propósitos. Com essa base, será desenvolvida a pesquisa por nós proposta, na qual as categorias aqui elaboradas, as análises realizadas e as conclusões só poderão caminhar para uma visão de ensino como aquela apresentada neste trabalho.

3. Referencial Teórico Metodológico de pesquisa

3.1 A pergunta nas análises das interações discursivas em Ciências

Como nosso objeto de pesquisa se configura na pergunta do professor em aulas investigativas de Física, devemos retomar na literatura específica como está o estado da arte desta linha de pesquisa voltada para o ensino de Ciências e Física. Essa retomada visa a dar sustentação à nossa construção de categorias. Por isso, devemos levar conosco, sempre em mente, as nossas perguntas de pesquisa:

Quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula de Física em que os alunos resolvem um problema? Que tipo de contribuição as perguntas podem trazer para um ensino que vise à AC?

Olhando para nossas perguntas de pesquisa, devemos buscar meios para que possamos nos aproximar de respostas satisfatórias para elas. Parece-nos clara a necessidade de elaborar uma categorização para verificar quais os tipos de perguntas, e esta advém dos muitos trabalhos que focam seu olhar nas interações discursivas e daqueles que nos ancoram enquanto estrutura teórica. Muitos trabalhos têm olhado as interações discursivas em Ciências respaldados pelos mesmos referenciais aos quais nos filiamos. Os frutos dessas pesquisas nos são profícuos, pois abrangem a perspectiva discursiva e o Ensino de Ciências com sua epistemologia diferente das outras áreas do conhecimento. Devemos, portanto, olhá-los para estruturar nossas categorias e diferenciar nosso entendimento de pergunta dos objetos da linguagem de natureza semelhante que aparecem nas investigações sobre interações discursivas.

No capítulo 3 do *Handbook of Research on Science Education*, de 2007, intitulado Linguagem e Aprendizado Científico, o pesquisador Willian Carlsen faz um histórico da pesquisa em ensino de Ciências na perspectiva da linguagem. Esse trabalho nos dá uma dimensão ampla do que vem sendo estudado na área e como a pergunta, da forma como a entendemos, pode aparecer nesses estudos. Carlsen resgata Vygotsky, na medida em

que este entende o conhecimento científico como um processo, passando de uma linguagem abstrata para uma concreta. Ao trazer o pesquisador Jay Lemke (1998), grande expoente da pesquisa em linguagem e em Ciências, Carsen destaca o papel dos diferentes tipos de linguagens existentes no ensino de Ciências, tais como gráficos, diagramas e tabelas, e afirma, de acordo com Lemke, que a aprendizagem em Ciências engloba o domínio e a diferenciação dessas diversas linguagens, que são fundamentais para o aprendizado em Ciências.

Para Lemke, os sistemas semióticos característicos das Ciências constituem também uma linguagem, e os objetos desta carregam uma noção de significação na qual esses objetos ganham forma no compartilhamento e na interação sociohistoricamente situados. O mesmo sentido fora apontado anteriormente em Bakhtin. “*Cada palavra é rica de significados*”, argumenta Lemke:

“significados que se acumulam à medida que os encontramos em muitos contextos diferentes. Cada palavra é uma intersecção de muitas declarações, muitos discursos que fazem uso dela. Cada palavra (num contexto) faz parte de alguma possível troca de significados entre os diferentes membros de uma comunidade (cf. LEMKE, 1998b). E o que é verdade para as palavras não é menos verdade para fotos e diagramas, gráficos e mapas, equações e representações simbólicas, e para o simbolismo das ações que significam tanto quanto acontecem.” (CARLSEN, 1998, p. 08, tradução nossa)

E ainda de acordo com ele:

“O objetivo da educação científica deveria ser o de capacitar os alunos para a utilização de todas as linguagens da Ciência de formas significativas e apropriadas, e, acima de tudo, poder integrá-las funcionalmente na condução da atividade científica.” (CARLSEN, 1998, p. 08, tradução nossa)

É interessante notar o papel das diversas linguagens que compõem a Ciência e que a dimensão discursiva se prolonga não só na oralidade enunciativa, mas também nas diversas formas de expressão. Os discursos se constituem também nas distintas formas de interagir, de usar símbolos, ferramentas e objetos. Em sala de aula, o professor dispõe desses elementos para dialogar com os educandos, e a pergunta coloca no centro do diálogo uma direção à forma de interação dos significados e instrumentos em jogo.

Ainda no extenso trabalho de Carlsen, um dos quatro grandes levantamentos feito por ele diz respeito às linhas de pesquisa voltadas à questão: o que um orador parece estar fazendo? Essa questão remete ao professor enquanto orador em uma situação didática. Carlsen aponta duas principais vertentes mais estudadas durante o levantamento: o orador *controla o discurso* e o orador *cria oportunidade para que haja construção de sentido*. A pergunta do professor permeia as duas vertentes, pois, como já lembramos, ela é um instrumento e depende dos propósitos do professor. Resume Carlsen:

“Perguntas docentes refletem tanto a autoridade do professor como a reforçam (Carlsen, 1991a). Perguntas afirmam o poder sociolinguístico (Mischler, 1978) e quando professores se encontram na discussão de um assunto que não lhes é familiar, eles podem confiar nas perguntas para se servirem de tópicos de discussão que lhes deixarão em território desconfortável (Carlsen, 1991b). Isto cria o que Driver (1983) chama de dilema do professor de Ciências: ensinar ciências como um processo de arguição ou como um corpo de conhecimento onde pousa um desafio linguístico constante?” (CARLSEN, p. 07, 2007, tradução nossa)

Estamos de acordo com essa colocação na medida em que reconhecemos a autoridade do professor como aquela repousada no saber a ser ensinado. Ressaltamos, entretanto, a distinção entre a autoridade à qual nos referimos e o autoritarismo emergente do discurso uníssono do professor. Defendemos o território desconfortável da dúvida e entendemos nosso objeto “pergunta” como a ponte para esse território. Na resolução do dilema proposto por Driver e apontado por Carlsen, estamos, com esta pesquisa, defendendo que o ensino da Física é um corpo de conhecimento e nosso trabalho se localiza como parte do “desafio linguístico constante”, como Carlsen expôs acima.

Reconhecemos, ademais, que no momento em que o professor cria oportunidades para a construção de sentido, ele está de posse da fala, mas esse controle se distingue ontologicamente do *controle do discurso* pelo seu propósito. Controlar o discurso pode ser uma ferramenta, constituída de perguntas, para enfatizar o autoritarismo do professor e o estigma do mestre. Por outro lado, criar oportunidades para construção de sentido, é, sim, utilizar-se de uma ferramenta constituída de perguntas para possibilitar avanços, explorar, simbolizar, contribuir para solução de um problema compartilhado, democratizar a relação de construção do conhecimento, promover significação de conceitos e um espírito

questionador.

Essa estrutura de controle do discurso é forte e universal em sala de aula. Em um trabalho de grande repercussão para os estudos sobre interações discursivas, Mehan, em 1979, mostrou, a partir da análise dos discursos em sala de aula, que há um padrão discursivo triádico corrente denominado IRA (Iniciação – Resposta – Avaliação). De acordo com esse padrão, o professor faz uma iniciação (elicitación) aos alunos e avalia a resposta do aluno. Em outras variações não triádicas, o professor pode dar um *feedback* (F) ou um prosseguimento (P) na interação em curso. Para Mehan, a aula pode ser dividida em etapas: abertura, desenvolvimento e fechamento, e cada etapa apresenta, de acordo com suas exaustivas análises, um padrão discursivo característico.

Mehan classificou ainda os diferentes tipos de iniciação/elicitación e as respectivas respostas, conforme a tabela 1:

Iniciativa	Resposta
Elicitación de escolha	Resposta de escolha
Elicitación de produto	Resposta de produto
Elicitación de processo	Resposta de processo
Elicitación de meta-processo	Resposta de reflexão

Tabela 1: tipos de iniciação (MEHAN, 1979)

No curso da interação, certos atos de respostas são solicitados por certos atos de iniciação; uma elicitação de escolha parece demandar uma resposta de escolha (como a elicitação “você acham que é isso ou aquilo...?”); uma elicitação de processo envolve uma resposta de processo; e assim por diante. Essas relações de coocorrências parecem governar as sequências interacionais com grande regularidade.

Em um artigo detalhado sobre análises discursivas na determinação de perfis conceituais, Mortimer e Amaral (2006) lembram o trabalho de Mehan com a ressalva de que *“o início de uma interação não é necessariamente uma pergunta e a resposta representa uma manifestação significativa do aluno ou do professor com relação a uma iniciação”*. Essa é uma observação importante, pois nosso sentido de pergunta se diferencia de uma iniciação. Uma iniciação pode ser uma afirmação, uma fala qualquer, e abrange uma gama de representações diferentes, como um gesto, um olhar ou uma fala. Enquanto a pergunta, que pode também ser expressa sem uma pontuação de interrogação, carrega consigo o senso de estímulo à cadeia enunciativa, para que haja uma fala externa causada por ela.

É interessante notar a presença dos papéis de avaliador e gerenciador do discurso nas pesquisas que estamos apresentando. Outro trabalho importante para a composição do corpus para elaborar nossas categorias é o de Rodrigo Drummond Vieira e Silvânia Nascimento, no qual se discute e analisa o conceito de Procedimentos Discursivos Didáticos (PDD). Os PDD são intervenções discursivas de repercussão concreta em sala de aula. Um resumo se encontra na tabela 2.

A base para a construção desses procedimentos localiza-se no padrão argumentativo de Toulmin (2006), vastamente utilizado nas pesquisas em argumentação e ensino de Ciências no mundo. A dimensão argumentativa está fortemente presente em nosso olhar na medida em que permite entender como os educandos constroem hipóteses de solução, os dados em discussão e as justificativas de modo a argumentar ativamente na busca pela construção de um conceito quando estão diante de um problema. E é nesse bojo argumentativo que os PDDs emergem como intervenções do professor.

Papéis do formador	Procedimentos Discursivos Didáticos	Descrição do procedimento
Avaliador de pontos de vista	Justificação de um ponto de vista	Formador imagina possíveis justificativas e evidências que podem dar suporte a uma opinião
	Confirmação de ponto de vista	Formador assegura um ponto de vista ou justificativa de um licenciando
	Reelaboração de um ponto de vista	Formador retoma um dado ponto de vista alheio e o reelabora em sua fala
Gerenciador da discussão	Explicitação de um ponto de vista	Formador expõe o seu próprio ponto de vista
	Sumarização de ideias discutidas	Formador sintetiza, em sua fala, ideias, pontos de vista e justificativas anteriores sobre uma dada questão
	Enunciação de pontos de vista contraditórios	Formador enuncia dois pontos de vista contraditórios sobre uma mesma questão
	Elaboração de feedbacks eliciativos	Formador solicita um ponto de vista sobre uma dada questão ou pede por maior elaboração na fala de um licenciando
	Interrupção de turnos de fala dos licenciandos	Formador interrompe a fala de um licenciando para avaliar o que foi dito ou dar sua opinião sobre o assunto em pauta
	Estabelecimento da última palavra	Formador finaliza a discussão com enunciações que redirecionam a atenção da turma para outra discussão ou atividade
Auscultador	Escuta atenta	Formador se mantém em silêncio prestando atenção nas trocas discursivas entre os licenciandos

Tabela 2: os procedimentos discursivos didáticos (DRUMMOND e NASCIMENTO, 2009, p. 448)

Esse trabalho nos é importante por dois motivos: primeiro, pela aproximação argumentativa com a perspectiva investigativa que queremos assegurar no modo como alunos e professores atuam em uma atividade problematizadora; segundo, pelos PDDs como modos de intervenção, que não contemplam as perguntas. Em nosso entendimento, as perguntas são objetos essenciais para que tanto os PDDs quanto as argumentações ocorram. Incluir a pergunta nesta dimensão é enriquecer o espectro dos procedimentos adotados pelos professores e situar suas funções. Notemos, além disso, a presença dos papéis de avaliador e gerenciador do discurso, mais uma vez dispostos na forma como educadores lidam com as discussões e argumentações em sala de aula, de acordo com o trabalho de Vieira e Nascimento (2009).

3.2 A construção de um instrumento de análise das perguntas em aulas problematizadoras de física

“O que nos impressiona são as diferentes formas pelas quais os professores interagem com seus estudantes ao falar sobre os conteúdos científicos: em algumas salas, as palavras estão por toda a parte. Os professores fazem perguntas que levam os estudantes a pensar e os estudantes são capazes de articular suas ideias em palavras, apresentando pontos de vista diferentes. Em algumas ocasiões o professor lidera as discussões com toda a classe. Em outras, os estudantes trabalham em pequenos grupos e o professor desloca-se continuamente entre os grupos, ajudando os estudantes a progredirem nas tarefas. Em outras salas de aula, o professor faz uma série de questões e as respostas dos estudantes, na maioria das vezes, limitam-se a palavras aqui e acolá, preenchendo as lacunas no discurso do professor. Muitas vezes o professor é extremamente hábil nesse estilo de exposição, mas há muito pouco espaço para os estudantes fazerem e falarem algo, e muitos nunca abrem a boca.”

Mortimer e Scott (2002)

Nossa construção de categorias abrange três vertentes principais:

- 1) O princípio de ensino investigativo em Física, presente na noção de ciclo

argumentativo, no qual os alunos lançam mão de estratégias discursivas para argumentar diante de um problema de investigação;

2) O conceito de propósito, imprescindível para a ação consciente de perguntar. Essa vertente está presente nas intenções discursivas analisadas por Mortimer e Scott (2000);

3) As classificações de perguntas existentes para o ensino de Ciências cujos enfoques são distintos, mas compõem um espectro dos tipos e categorias disponíveis para olharmos a pergunta do professor em aulas investigativas de Física.

O ciclo argumentativo, proposto por Sasseron e Carvalho (2011), surgiu em decorrência de uma pesquisa visando a entender como os alunos constroem os argumentos em sala de aula. Em uma SEI aplicada em turmas do ensino fundamental, as autoras buscaram verificar quais elementos discursivos apareciam na construção de argumentos orais para o problema apresentado. No trabalho, elas defendem a argumentação como *“a capacidade de relacionar dados e conclusões, de avaliar enunciados teóricos à luz dos dados empíricos ou procedentes de outras fontes”* (SASSERON, 2011, p. 06).

Com base nos estudos sobre argumentação, as autoras usaram os indicadores de alfabetização científica (SASSERON, 2008) para analisar a construção dos argumentos nessas aulas. Estes indicadores representam habilidades discursivas e ações articuladas pelos alunos para resolver o problema.

Indicadores de alfabetização científica	Funcionalidade
Levantamento de hipótese Teste de hipótese	Indicadores relacionados com a obtenção de dados e delimitação de variáveis.
Classificação de informações Seriiação de informações Organização de informações	Indicadores relacionados ao trabalho com os dados empíricos.
Explicação Justificativas Previsão	Indicadores de relação entre variáveis e informações.
Raciocínio lógico Raciocínio proporcional	Indicadores de apropriação de ideias em caráter científico.

Tabela 3: os indicadores de Alfabetização Científica e suas funcionalidades

Ao aplicar os indicadores para momentos diferentes das aulas investigativas, as autoras observaram a presença de um ciclo argumentativo, como chamaram, no qual os argumentos se desencadeiam durante a investigação dialogando com as informações disponíveis e a forma como eles se constroem de acordo com o desenvolvimento da

atividade. Esse ciclo, nas aulas investigativas, aparecia claramente com indicadores relacionados: 1) aos dados no início da investigação; 2) à definição de variáveis, momento em que os alunos apresentam indicadores de elaboração e teste de hipóteses, assim como previsões e justificativas; 3) aos indicadores de apropriação de ideias em caráter científico, que são mais observados nos momentos finais das investigações, após o processo de discussão. Em suma, o ciclo apresenta três movimentos relacionados, respectivamente, com os dados, o processo de investigação e as apropriações.

Notemos, em tempo, que esse ciclo não é hermético, foi observado nas aulas investigativas da sequência proposta. Notemos, ademais, que a aproximação entre a argumentação dos alunos e o ensino investigativo de Ciências é parte da demanda trazida pelo problema, pois, posto um problema de investigação, as hipóteses, os dados e as refutações/validações/justificativas são parte de um processo de argumentação. É parte da investigação em curso nas atividades problematizadoras descartar variáveis, elaborar hipóteses, justificativas e explicações. Esses indicadores se relacionam com o ensino investigativo de forma ontológica no seio da episteme contida na investigação.

Defendemos, todavia, a utilização do conceito de ciclo argumentativo na construção nas nossas categorias: primeiro pela sua relação com o ensino investigativo e a forma como visualizamos o desenvolvimento de uma aula ou SEI; segundo, pela percepção de que há, para cada momento do ciclo, um comportamento discursivo diferente do professor. Esse comportamento também faz parte do nosso *corpus* de elaboração das categorias, consistindo de um segundo trabalho a ser considerado: o de Mortimer e Scott (2002).

Mortimer trabalhou com James Wertsch em seu pós-doutoramento nos Estados Unidos. Ele carrega em seus trabalhos, assim como Scott, os referenciais bakhtiniano, vigostikiano e wertschiano. No trabalho publicado em conjunto, Mortimer e Scott elaboraram uma metodologia de análise do discurso para entender como ocorrem as interações professor-aluno em sala de aula e, sobretudo, a produção de significado. Os autores utilizam o conceito de gênero do discurso, elaborado pelo Círculo de Bakhtin e que é *“constituído de tipos estáveis de enunciados no qual cada esfera da linguagem é usada”* (BAKHTIN, 2009). Em uma construção detalhada e aplicada para uma investigação sobre oxidação em aula de química, os autores buscam abranger as diferentes esferas da linguagem utilizadas pelo professor de modo a se aproximar ao máximo de uma descrição precisa dos movimentos discursivos em aula. A estrutura analítica dos discursos abrange o papel do professor no que tange a cinco aspectos interrelacionados e dispostos em três

blocos: os focos do ensino, a abordagem comunicativa do professor e as ações discursivas do professor.

I) Os **focos do ensino** relacionam-se com as *intenções do professor*, ou seja, qual o problema proposto, como ele foi pensado, de que forma o professor utilizará as concepções prévias dos alunos, como ele pretende guiar a atividade. As intenções estão diretamente relacionadas ao conceito de propósito de Wertsch. Uma alusão ao propósito é importante na definição da ação expressa por Wertsch, pois coloca, em uma ação discursiva, a intenção contida nela. Os autores definiram quais os tipos de intenções aparecem em sala de aula durante a investigação. São seis e estão organizados abaixo:

Intenções do professor	Foco
Criando um problema.	Engajar os estudantes, intelectual e emocionalmente, no desenvolvimento inicial da 'história científica'.
Explorando a visão dos estudantes.	Elicitar e explorar as visões e entendimentos dos estudantes sobre ideias e fenômenos específicos.
Introduzindo e desenvolvendo a 'história científica'.	Disponibilizar as ideias científicas (incluindo temas conceituais, epistemológicos, tecnológicos e ambientais) no plano social da sala de aula.
Guiando os estudantes no trabalho com as ideias científicas, e dando suporte ao processo de internalização.	Dar oportunidades aos estudantes de falar e pensar com as novas ideias científicas, em pequenos grupos e por meio de atividades com a toda a classe. Ao mesmo tempo, dar suporte aos estudantes para produzirem significados individuais, internalizando essas ideias.
Guiando os estudantes na aplicação das ideias científicas e na expansão de seu uso, transferindo progressivamente para eles o controle e responsabilidade por esse uso.	Dar suporte aos estudantes para aplicar as ideias científicas ensinadas a uma variedade de contextos e transferir aos estudantes controle e responsabilidade (Wood et al., 1976) pelo uso dessas ideias.
Mantendo a narrativa: sustentando o desenvolvimento da 'história científica'.	Prover comentários sobre o desenrolar da 'história científica', de modo a ajudar os estudantes a seguir seu desenvolvimento e a entender suas relações com o currículo de Ciências como um todo.

Tabela 4: as intenções do professor para Mortimer e Scott (2002)

Outra perspectiva do foco de ensino é o *conteúdo do discurso* em sala de aula. Este pode referir-se aos tipos de interações desenvolvidas entre professor e aluno, podendo ser relacionadas à atividade, aos aspectos procedimentais e ao gerenciamento e manejo da sala. No trabalho, os autores desconsideram os conteúdos procedimentais e de manejo da turma, focando a análise nos conteúdos dos discursos na atividade. Neste aspecto, os autores classificam a interação como explicação, descrição ou generalização.

II) A **abordagem comunicativa do professor** fornece informações para a análise sobre como o professor trabalha as intenções e o conteúdo do ensino por meio das

diferentes intervenções pedagógicas que resultam em diferentes padrões de interação.

As formas de abordagem podem ser basicamente: *dialógica* em que se contrapõem posições e vozes diferentes acerca do conteúdo; *de autoridade*, que apresenta uma visão única; *interativa*, na qual os alunos e o professor interagem na discussão; e *não interativa*, em que o professor sozinho discursa. Essas classes de abordagem relacionam-se diretamente com o papel do professor nos momentos em que ele controla o discurso em sala de aula. Elas aparecem em pares, podendo ser: *dialógica-interativa*, na qual o professor contrapõe pontos de vista chamando os alunos a contribuírem e interagindo com eles; *dialógica-não interativa*, na qual o professor não interage com os alunos, mas contrapõe visões acerca de um conhecimento utilizando ou não as ideias dos alunos; *interativo-de autoridade*, no qual o professor interage com os alunos, mas apresenta uma visão única acerca de um fenômeno e, via de regra, impõe essa visão aos estudantes; e *não interativa-de autoridade*, na qual só o professor fala, expondo uma visão única do fenômeno.

III) as **ações do professor** referem-se ao desenvolvimento da aula e aos movimentos discursivos implicados das interações, sejam os padrões discursivos estabelecidos ou as intervenções realizadas pelo professor. Foram chamados de *padrão discursivo* (IRA), no qual o professor elabora uma iniciação (I), os alunos dão uma resposta (R) e o professor, uma avaliação (A). Tais padrões foram elaborados primeiramente por Mehan (1979) e podem continuar com um *feedback* ou prosseguimento. Por último, as interações também são influenciadas pelas *intervenções do professor* diante de uma pergunta ou uma colocação. Essas intervenções podem dar forma aos significados, selecioná-los, marcá-los, compartilhá-los, verificar a compreensão dos alunos sobre eles e rever os procedimentos.

Dessa descrição das formas de interação entre professor e alunos (Mortimer e Scott, 2002), destacamos a distinção entre a pergunta, como a entendemos neste trabalho, e a iniciação do padrão de interação de Mehan (1979). Não consideraremos o conceito de iniciação para a construção de nossas categorias, pois não se trata de uma pergunta. O mesmo faremos com a “abordagem do professor” e “o conteúdo do discurso”, pois a pergunta pode estar em todas essas vertentes, e como desejamos estudar a pergunta, sua relação com as abordagens comunicativas só pode ser construída *a posteriori*. Por outro lado, destacamos em nosso referencial teórico a importância do propósito didático para a pergunta, que está presente no trabalho de Mortimer e Scott como intenções discursivas do professor. É importante, para nós, ter, como pano de

fundo, a noção de que a pergunta deve necessitar de um propósito. Assim, da ferramenta analítica proposta por Mortimer e Scott (2002), utilizaremos as intenções do professor como base para a construção das nossas categorias.

Postos os dois referenciais teóricos para justificar a categorização das perguntas do professor em aulas investigativas de Ciências, devemos ressaltar uma diferença entre eles. O primeiro, do ciclo argumentativo, apresenta diferentes momentos de argumentação dos alunos no desenvolvimento de uma aula investigativa, portanto, o foco do trabalho são os alunos; o segundo analisa primordialmente o professor. Mas ambos se preocupam com as interações discursivas em aulas investigativas. Assumindo que a aula investigativa apresenta diferentes momentos - como foi verificado no ciclo argumentativo - , devemos primar que, para cada momento, haja intenções diferenciadas para o professor, de modo a garantir que os alunos tenham conhecido os dados, verificado as variáveis, elaborado e testado justificativas, e assim por diante. Apresentamos na tabela 5 como essas duas teorias se relacionam ao nosso ver.

Intenções do professor (Mortimer e Scott)	Aspectos do Ciclo argumentativo
<ul style="list-style-type: none"> • Criando um problema. • Explorando a visão dos estudantes. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Introduzindo e desenvolvendo a 'história científica'. 	Indicadores relacionados com a obtenção de dados e delimitação de variáveis. Indicadores relacionados ao trabalho com os dados empíricos.
<ul style="list-style-type: none"> • Guiando os estudantes no trabalho com as ideias científicas e dando suporte ao processo de internalização. 	Indicadores de relação entre variáveis e informações
<ul style="list-style-type: none"> • Guiando os estudantes na aplicação das ideias científicas e na expansão de seu uso, transferindo progressivamente para eles o controle e responsabilidade por esse uso. 	Indicadores de apropriação de ideias em caráter científico.
<ul style="list-style-type: none"> • Mantendo a narrativa: sustentando o desenvolvimento da 'história científica'. 	

Tabela 5: as intenções do professor e as etapas do ciclo argumentativo em aulas investigativas.

Observemos desse comparativo - e com certa naturalidade - a ausência das perspectivas de criação do problema, de experiências prévias dos alunos e de sustentação da "história científica". A etapa de criar o problema é essencial para uma aula investigativa, pois, se o problema não for bem compreendido, as etapas do ciclo se diluem. Verificar o conhecimento prévio do aluno é também uma parte da criação do problema, pois, sem este conhecimento prévio, não se reconhece o problema proposto, e o aluno precisa reconhecer o problema e tê-lo para si de modo a se engajar na sua resolução. Para haver o ciclo é necessário um problema. E tomaremos a esfera discursiva

da intenção de criar um problema como parte importante para construir nossas categorias. Essa intenção se reflete nas intervenções do professor, de acordo com Mortimer e Scott (2002), e, sendo assim, podem apresentar como respostas todos os indicadores.

Dessa comparação, incorporando a criação do problema às três funcionalidades discursivas do ciclo argumentativo, observamos os tipos de intenção do professor na ação discursiva e consideraremos essa intenção importante para a expressão enunciativa dos alunos ao responder. Assim, a pergunta mantém-se como instrumento dialógico de estímulo à cadeia enunciativa e contém em si intenções discursivas oriundas do propósito didático.

Como desdobramento, tomaremos como noções relevantes para olhar a pergunta do professor o que, a partir de agora, chamaremos de “Aspectos Discursivos do Ensino Investigativo”, e são quatro: **1) A criação do problema, 2) O trabalho com os dados, 3) o processo de investigação, e 4) A explicação ou internalização dos conceitos.** Ao relacionar as categorias para as intenções do professor com as etapas do ciclo argumentativo dos alunos, vemos que elas apresentam uma relação estreita entre o que o professor pergunta e a resposta dos alunos. Essas quatro esferas de uma aula investigativa devem refletir-se no comportamento discursivo do professor, por isso as tomaremos como base de construção das categorias e relacionaremos a seguir essas esferas com os trabalhos nas áreas de Ciências cujos frutos fornecerão classificações de perguntas do professor. Essa relação visa a aproximar as classificações já existentes dos nossos propósitos de análise para ensino investigativo e a fortalecer nossas categorias nas quatro esferas propostas.

3.2.1 As categorias existentes, os aspectos discursivos do ensino investigativo e a elaboração de uma nova categorização.

Em revisão da literatura encontramos três classificações diferentes relacionadas aos tipos de pergunta em sala de aula de Ciências (PENICK, 2007; MARTENS, 1999; e HARLEN, 1996). Cada uma delas buscou analisar as perguntas de acordo com uma perspectiva diferente. O que faremos é relacionar essas categorias com a nossa perspectiva de ensino investigativo presente nas quatro esferas de interações discursivas levantadas por nós. O trabalho de Martens (1999) organiza as perguntas possíveis dos professores em seis categorias, que vão desde a chamada de atenção para os detalhes

de um problema e o cuidado com as informações existentes, passando pela análise e classificação das mesmas, culminando em questões que façam os alunos proporem explicações e construam ideias e modelos sobre o caso estudado. A autora foca seu estudo em crianças entre 7 e 10 anos do ensino fundamental americano e no desenvolvimento de habilidades científicas dos alunos de modo a incentivá-los a observar os objetos de estudo e construir coletivamente conceitos científicos. A classificação proposta por ela está exposta na tabela 6 conforme nossa tradução:

Tipos de Perguntas	Descrição	Exemplos
Perguntas de foco e atenção	Ajudam os alunos a manter o foco e a atenção nos detalhes.	O que você observa aqui? O que eles estão fazendo?
Perguntas de medição e contagem	Ajudam os alunos a precisar as observações.	Quantas vezes isso...? Em quanto tempo....?
Perguntas de comparação	Ajudam os alunos a analisar e classificar.	Este é igual ou diferente? Como atuam juntos...?
Perguntas de ação	Ajudam os alunos a explorar as propriedades de materiais, eventos. A fazer previsões sobre fenômenos.	O que acontece se....? O que aconteceria...?
Perguntas problematizadoras	Ajudam os alunos a planejar e buscar soluções.	Você pode descobrir como? Encontre uma maneira...?
Perguntas de raciocínio	Ajudam os alunos a pensar sobre a experiência e construir ideias que façam sentido.	Por que você acha...? Qual sua razão para...?

Tabela 6: classificação das perguntas para Mary Lee Martens

O segundo trabalho a analisar as perguntas é de natureza empírica. Em 2006, os pesquisadores do *Exploratorium Institute for Inquiry*, da Universidade de San Francisco, EUA, elaboraram uma classificação de perguntas em sala de aula: um grupo de professores de Ciências era colocado diante de vídeos com situações de sala de aula de nível médio e, em dados momentos, eles eram indagados sobre qual pergunta fariam aos alunos naquela situação. As categorias resultantes foram: perguntas diretivas em relação à explicação de um fenômeno; perguntas relacionadas aos procedimentos executados em uma investigação; perguntas que levam os questionados a expor hipóteses sobre o problema estudado; e outros tipos de perguntas.

Tipos de Perguntas	Descrição	Exemplo
Perguntas centradas no assunto	Remetem diretamente ao assunto a ser estudado; têm somente uma resposta certa.	Quantas imagens temos nos espelhos?
Perguntas centradas no processo	Buscam selecionar e destacar variáveis; envolvem o processo de investigação.	De que forma ficou isso quando você aumentou aquilo?
Perguntas centradas na pessoa	Não existem respostas certas ou erradas; buscam extrair o que os	O que você acha que explica...?

	alunos acham ou sabem.	
Outros tipos de perguntas	Perguntas que não se enquadram no perfil anterior.	O que você sabe sobre a propriedade....?

Tabela 7: organização da classificação do Institute for inquiry para os tipos de perguntas.

O terceiro trabalho é o estudo de Penick (*apud* CLOUGH, 2007). Voltado para o trabalho experimental em aulas de Ciências, o autor sugere cinco categorias hierárquicas para classificar as perguntas feitas pelo professor. Sua classificação se volta à pergunta como contendo um significado próprio e, a partir daí, atribui sentido a ela. As categorias propostas partem desde: perguntas que levam os alunos a apresentarem suas observações do processo vivenciado; perguntas que permitem a comparação entre diferentes dados, informações e ideias; perguntas que remetem à aplicação do conhecimento estudado para outras situações; perguntas que exigem o levantamento de hipóteses sobre o conceito quando visto em outros contextos; e perguntas que se relacionam mais especificamente às relações causais. Na tabela 8, resumimos a classificação de Penick.

Tipos de Perguntas	Descrição	Exemplo
Perguntas de História	Dizem respeito à experiência em curso.	O que você fez...? O que acontece quando você...?
Perguntas de relacionamento	Envolvem os alunos na comparação de ideias.	Como isso se compara a...? O que estes têm em comum?
Perguntas de aplicação	Requerem que o estudante use o conhecimento em outro contexto.	Como isso poderia ser usado para...? Conhece algum outro lugar onde isso acontece?
Perguntas de especulação	Requerem raciocínio para além do experimento.	O que aconteceria se...? Quais problemas podem resultar se...?
Perguntas de explanação	Buscam razões subjacentes à investigação. Raciocínio.	Como isso funciona? Como podemos explicar isso?

Tabela 8: classificação das perguntas segundo Penick (1986)

Os trabalhos estudados e mencionados anteriormente esboçam e explicitam ideias quanto às perguntas dos professores em aulas de Ciências. No entanto, como enfatizamos, cada uma destas pesquisas foi realizada em situações distintas cujas razões nem sempre estavam ligadas às interações discursivas no âmbito de uma atividade investigativa, ocorridas em sala de aula. Considerando nossos objetivos, comparamos na tabela a seguir como tais categorias se enquadram em relação as quatro aspectos discursivos para o ensino investigativo, levantados no item 3.2 deste trabalho. Nossa intenção com a comparação é localizar dentro do propósito e do contexto de elaboração

da classificação o que já existia anteriormente sobre perguntas e, assim, fortalecer nossa construção.

Aspectos discursivos do ensino investigativo	Ordenação das categorias existentes dos tipos de perguntas	Descrição
Criação do problema	Perguntas problematizadoras	Ajudam a planejar e buscar soluções.
	Perguntas de História	Dizem respeito à experiência em curso (prévias e observadas).
	Perguntas centradas na pessoa	Buscam extrair o que os alunos acham ou sabem.
Trabalho com os dados	Perguntas de foco e atenção	Ajudam os alunos a manter o foco e a atenção nos detalhes.
	Perguntas de medição e contagem Perguntas de comparação	Ajudam os alunos a precisar as observações. Ajudam os alunos a analisar e classificar.
	Perguntas centradas no assunto	Remetem diretamente ao assunto a ser estudado.
	Perguntas de ação	Ajudam os alunos a explorar as propriedades de materiais, eventos.
Processo de investigação	Perguntas de ação	Ajudam a fazer previsões sobre fenômenos.
	Perguntas centradas no processo	Buscam selecionar e destacar variáveis; envolvem o processo de investigação.
	Perguntas de relacionamento	Envolvem os alunos na comparação de ideias.
Apropriação ou Internalização dos Conceitos	Perguntas de raciocínio	Ajudam os alunos a pensar sobre a experiência e construir ideias que façam sentido.
	Perguntas centradas na pessoa	Buscam extrair o que os alunos acham ou sabem.
	Perguntas de aplicação	Requerem que o estudante use o conhecimento em outro contexto.
	Perguntas de especulação	Requerem raciocínio para além do experimento.
	Perguntas de explanação	Buscam razões subjacentes à investigação.
	Outros tipos de perguntas	Outros tipos de perguntas

Tabela 9: aspectos discursivos do ensino investigativo e as classificações vigentes

No aspecto discursivo de “criar o problema”, o professor levanta os conhecimentos prévios dos alunos e explicita o problema cuja solução não é trivial aos alunos. As perguntas problematizadoras (MARTEENS, 1999), as de História (PENICK, 2007) e as centradas na pessoa (EXPLORATORIUM INSTITUTE FOR INQUIRY, 2010) se relacionam com a criação do problema na medida em que planejam a ação para problematizar, retiram elementos da atividade para criar o problema e buscam o

conhecimento prévio do aluno, respectivamente. Elas aparecem no primeiro item, pois remetem à etapa anterior do processo, em que o problema é criado, contando com o conhecimento prévio do aluno para que este possa observar o problema com auxílio do professor.

Muitas perguntas existentes nas categorias anteriores se relacionam ao trabalho com os dados, pois esta é uma etapa fundamental de uma investigação. Perguntas de foco e atenção, de medição e contagem, e de comparação, como colocadas por Marteens, são essencialmente relacionadas ao trabalho com dados, pois aumentam a acurácia do olhar do aluno para os dados, ajudam a eliminar ruídos nas medidas e comparam-nas. As perguntas centradas no assunto e as perguntas de ação também se relacionam com os dados na medida em que ajudam a explorar as propriedades dos materiais envolvidos. O trabalho com dados envolve comparações de observações, de medidas e de seleção de variáveis.

A pergunta de ação aparece novamente no aspecto discursivo do ensino investigativo como forma de fazer previsões sobre fenômenos. Entendemos que prever e criar hipóteses são etapas distintas da relação com os dados, por isso, essa categoria não pode estar toda em uma parte ou em outra. As perguntas “centradas no processo” e “de relacionamento” também são relativas ao processo de investigação, pois comparam ideias, fazem os alunos explorarem o fenômeno, pensarem sobre ele, criarem e refutarem hipóteses.

As perguntas de especulação e explanação têm o foco central na busca do raciocínio sobre as soluções do problema, na aplicação do conceito em outro contexto, o que pressupõe um entendimento, fazer com que os alunos elaborem explicações. Das categorias existentes, muitas são semelhantes nesse sentido: como as perguntas de raciocínio, pois ajudam os alunos a construir ideias que fazem sentido; as de explanação, pois requerem uma explicação do fenômenos; as de aplicação e de especulação, por buscarem em outro contexto e em outros exemplos a possibilidade de aplicação da solução do problema; e a pergunta centrada na pessoa aparece novamente aqui, na medida em que o processo de internalização é diferente da utilização da experiência prévia do aluno para se criar problema, embora ambos sejam centrados na pessoa.

Por fim, a classificação de pergunta elaborada pelo *Institute of Inquiry* e intitulada “outros tipos de perguntas” não se encaixa dentro dos aspectos discursivos do ensino investigativo, pois são gerais, buscam abranger o que não está contido em outras categorias. Os únicos exemplos para esse item tratariam de perguntas de gestão do

ambiente ou da sala. De acordo com nossa definição de pergunta, seriam expressões tais quais: “Você pode mudar de lugar com seu colega?”, “Alguém trouxe o experimento?”, entre outras, que não se configuram como perguntas.

Ao alocarmos as categorias existentes dentro dos aspectos discursivos do ensino investigativo, algumas delas apresentam caráter ambíguo, encaixando-se em mais de um bloco. É o caso das perguntas de ação remetendo ao trabalho com dados e ao processo, e das perguntas centradas na pessoa que podem explorar o que ela sabe previamente ou o que ela aprendeu após a investigação. Esses exemplos de distinção entre as categorias pré-existentes e os aspectos discursivos do ensino investigativo nos fortalecem em busca de uma classificação mais coesa de acordo com o ensino investigativo. A construção das categorias leva em conta aquelas já existentes reconhecendo, contudo, cada uma delas elaborada com um objetivo distinto das outras. Se buscamos analisar aulas investigativas de Ciências, temos que construir um instrumento analítico que forneça uma descrição mais próxima dos fenômenos discursivos em curso durante as aulas investigativas.

Partindo do reagrupamento proposto por nós, elaboramos nossas categorias de perguntas, considerando os quatro aspectos discursivos do ensino investigativo como vias principais de encaminhamento discursivo para as perguntas nas aulas investigativas. Considerando na construção, em primeiro lugar, o ciclo argumentativo e a sua importância no desenvolvimento dos indicadores de alfabetização científica; em segundo lugar, a importância das intenções discursivas do professor para analisar a pergunta; e, por fim, em terceiro, a incorporação das categorias já existentes de perguntas em aulas de Ciências.

Com base na junção dos referenciais expostos anteriormente, enfatizando os quatro aspectos discursivos do ensino investigativo, propomos que estes são centrais e compõem nossa categorização. Entendemos que as perguntas feitas pelo professor em aulas investigativas planejadas contêm, em si, intenções de exploração da investigação, de relação com as etapas de investigação em curso e com os propósitos didáticos insurgentes do planejamento da aula. Assim, temos quatro categorias principais, todas situadas no curso da investigação. Estas visam a localizar os tipos de perguntas feitas pelo professor nas aulas investigativas. Portanto, na emergência de construção deste instrumento analítico está, conforme insistimos, a intenção do professor nas etapas de uma investigação planejada, de forma a possibilitar olhares e posturas diferentes das apresentadas pelos educandos no processo de construção de conceitos científicos. Na tabela 10 apresentamos as categorias que consideraremos para analisar aulas de

Ciências em que se resolve um problema. Este será nosso instrumento analítico para entender melhor as perguntas do professor em sala de aula.

Classificação das perguntas	Descrição	Exemplos
Perguntas de problematização	Remetem-se ao problema estudado ou subjacente a ele dentro da proposta investigativa. Refazem, reformulam de outra maneira, voltam à proposta do problema. Ajudam os alunos a planejar e buscar soluções para um problema e exploram os conhecimentos do aluno antes de eles o resolverem. Levantam as demandas do problema para que os alunos iniciem a organização das informações necessárias para resolvê-lo.	Por que isso acontece? Como explicar esse fenômeno?
Perguntas sobre dados	Abordam os dados envolvidos no problema. Seja evidenciando-os, apresentando-os ou selecionando-os de forma a descartar ou não variáveis. Direcionam o olhar do aluno para as variáveis envolvidas relacionando-as, procurando um grau maior de precisão, comparando ideias, propondo inversões e mudanças.	O que acontece quando você...? O que foi importante para que isso acontecesse? Como isso se compara a...?
Perguntas exploratórias sobre o Processo	Buscam que os alunos emitam suas conclusões sobre os fenômenos. Podem demandar hipóteses, justificativas, explicações, conclusões como forma de sistematizar seu pensamento na emissão de uma enunciação própria. Buscam concretizar o aprendizado na situação proposta. Fazem com que o aluno reveja o processo pelo qual ele resolveu o problema, elucide seus passos.	O que você acha disso? Como será que isso funciona? Como chegou a essa conclusão?
Perguntas de sistematização	Buscam que os alunos apliquem o conceito compreendido em outros contextos, prevejam explicações em situações diferentes da apresentada pelo problema. Levam o aluno a raciocinar sobre o assunto e a construir o modelo para explicar o fenômeno estudado.	Você conhece algum outro exemplo para isso? O que disso poderia servir para este outro....? Como você explica o fato..?

Tabela 10: os tipos de perguntas do professor em aulas investigativas de Física

Essas quatro categorias abrangem etapas do processo investigativo importantes para o desenvolvimento da atividade e se constituem ontologicamente pela intenção contida na ação enunciativa de perguntar. A primeira categoria relaciona-se a um momento anterior à investigação, onde se especulam os conhecimentos prévios e se constitui o problema. A categoria de perguntas sobre dados expõe a seleção de dados, eliminação de variáveis, acurácia em medidas ou o melhor conhecimento dos fatores relevantes ao problema. As perguntas sobre processo visam a estimular os alunos a relacionar idéias com dados e observações, criando hipóteses, refutando e debatendo. A última categoria, de sistematização, explora os limites do contexto de investigação exatamente como meio de verificar como o processo de apropriação do conceito foi

realizado; as perguntas instigam o aluno a explicar, explorar suas conclusões, apropriar-se do conceito e internalizá-lo, passando a trabalhar com ele.

Em suma, trata-se de uma classificação situada no processo discursivo emergente de uma atividade de investigação, portanto passível de se aplicar para tentar entender os caminhos pelos quais os estudantes podem construir melhor seu conhecimento científico.

Com essa ferramenta analítica nas mãos, olharemos agora aulas investigativas de Física para verificar como as perguntas aparecem, suas funções e relações com a aula. Conforme pudemos observar no processo de construção, para realizar esta análise temos que estabelecer os critérios de seleção de aulas, episódios, transcrições e classificações que estejam de acordo com nossa ferramenta analítica para, assim, garantir a validade dos dados. Esclarecemos, a seguir, qual nossa metodologia de pesquisa.

4. Metodologia de pesquisa

Nossa pesquisa tem caráter qualitativo, buscando analisar as interações discursivas com foco nas perguntas realizadas pelo professor em aulas de Física do Ensino Médio que envolvam a resolução de problemas pelos alunos, e analisar também os indicadores de alfabetização científica que eles apresentam no curso da atividade. A análise privilegia as perguntas do professor e os indicadores de AC dos alunos de modo a classificá-los de acordo com as respectivas categorias. Para as perguntas do professor, utilizaremos as categorias construídas por nós e, para as falas dos alunos, utilizaremos os indicadores de AC (SASSERON, 2008).

O método qualitativo de pesquisa é muito utilizado em pesquisas educacionais e, conforme sugere Erickson (1998), é especialmente apropriado quando se pretende, entre outras coisas, *identificar nuances do entendimento subjetivo que motiva os vários participantes* (p.1155). Nesse sentido, não esperamos generalizar comportamentos e atitudes, mas tecer um panorama de como esses dois fatores se encontram e se relacionam durante a investigação de um problema Físico, privilegiando aspectos e pormenores discursivos do trabalho em sala de aula que elucidem possíveis contradições e/ou incompreensões, as quais uma análise do tipo quantitativa poderia não ser capaz de responder.

De modo mais específico, para analisar as interações discursivas em uma sala de aula, como intentamos neste trabalho, localizamo-nos na perspectiva de uma pesquisa qualitativa que analisa o discurso tendo como pressuposto as relações entre linguagem e pensamento (VYGOTSKY, 2000) e significação (BAKTHIN, 2000), nas quais é possível inferir, pela localização das interações discursivas em seus contextos, como estão se construindo conceitos em sala de aula. Nesse sentido, os resultados da investigação vão além das descrições, da natureza e do conteúdo das ideias que os sujeitos possuem. *Analisar o discurso é discutir os processos pelos quais essas ideias são propostas negociadas, defendidas e questionadas* (MARTINS, 2006).

Embora seja um pouco distinta, a pesquisa com interações discursivas não deixa de ser qualitativa, conforme apontamos acima, no sentido exposto por Erickson (1998), na medida em que se desenvolve uma documentação dos eventos e a identificação dos significados contidos neles.

Em consonância com a base referencial de nossa pesquisa, defendemos a

construção de significados localizada sociohistoricamente (Bakhtin, 2000), e esta concepção carrega consequências para a metodologia que se aplica na pesquisa. “*Estas perspectivas*”, elucida a pesquisadora Isabel Martins:

“conduzem a uma visão de ensino e aprendizagem de Ciências envolvendo uma segunda socialização ou enculturação em subcomunidades, bastante diferente de visões que tratam o ensino como transmissão ou a aprendizagem como um processo de desenvolvimento cognitivo autônomo. A aprendizagem é recontextualizada como construção de sentidos e as análises das interações discursivas revelam como professor e estudantes negociam novos significados em um processo comunicativo no qual perspectivas culturais diferentes se encontram em um processo de crescimento mútuo.” (Martins, 2006, p. 03)

Nossa metodologia de pesquisa obedecerá aos limites impostos pela visão de construção e negociação dos significados presentes nas categorias construídas na no item anterior e pela definição de pergunta por nós elaborada e utilizada, as quais delimitarão o recorte de validade advindo da resposta às seguintes questões centrais:

Quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula de Física em que os alunos resolvem um problema? Que tipo de contribuição as perguntas podem trazer para um ensino que vise à AC?

Buscaremos, para chegar às respostas das nossas perguntas de pesquisa, analisar um conjunto de dados obtidos pela transcrição dos discursos orais expressos em aulas gravadas em vídeo. Estas são oriundas de uma dissertação (Barrelo Jr, 2010) cuja investigação também se deu em torno das interações discursivas em aulas investigativas de Física. Para tanto, ao olharmos os dados, devemos considerar as perguntas do professor conforme nossa classificação expôs. Este delineamento busca atender à validade dos dados possíveis de serem analisados de acordo com nossos propósitos.

É importante para a nossa análise considerar as gravações em vídeos e as transcrições em texto obtidas a partir da aplicação da SEI, pois esses itens circunscrevem o contexto de negociação dos significados nas aulas. Nem sempre uma enunciação escrita na transcrição compreende exatamente o que o aluno quis expressar. O áudio e o vídeo ajudam na interpretação dos dados para categorizar os tipos de perguntas ocorridas

durante a aula. A imagem e o áudio podem mostrar um gesto ou uma entonação que a transcrição não anuncia. O mesmo é válido para os significados negociados. Sem um conhecimento prévio da SEI trabalhada não se pode saber se uma palavra está ou não expressando um conceito, no curso do trabalho investigativo.

4.1 A constituição metodológica dos dados com base nas perguntas de investigação

Para buscar uma resposta às nossas perguntas de pesquisa, delimitaremos quais os procedimentos de análise para esta investigação. As SEI analisadas já serviram de *corpus* para um trabalho realizado no LaPEF, cujos propósitos, ainda que voltados para aspectos do ensino e da aprendizagem da Física, eram diferentes dos nossos. Buscando verificar especificamente as perguntas feitas pelo professor e os indicadores de AC dos alunos, utilizaremos os materiais já gravados e transcritos.

Os dados têm relação com os objetivos de nosso trabalho, pois tratam do estudo de aulas de Física no Ensino Médio, com atividades problematizadoras de sequências de ensino investigativo (SEI) desenvolvidas com sucesso em relação à aprendizagem dos alunos. É uma SEI aplicada ao terceiro ano e o tema é previsto e proposto nos PCN+³ da Física. Para cada uma das aulas selecionadas analisaremos as perguntas realizadas pelo professor, os indicadores de alfabetização científica apresentados pelos alunos e as interações discursivas que nela ocorrem de acordo com nossos pressupostos teóricos e nossa categorização teórica construída.

O trabalho de pesquisa de Barrelo Jr analisou uma SEI de Física Moderna, versando sobre dualidade onda-partícula. O autor adaptou a sequência do trabalho de Brockington (2005) elaborando um conjunto de 11 aulas expostas no anexo A. A proposta remodelada foi discutida no grupo de pesquisa (LaPEF) a fim de explicitar os objetivos das aulas, recursos didáticos e discussões.

Os dados foram coletados em uma escola pública vinculada à Universidade de São Paulo, onde as aulas de Física são realizadas em um laboratório com instalações como bancadas de alvenaria, água, gás e rede elétrica. No centro, distribuem-se as cadeiras universitárias onde os alunos se sentam nas aulas expositivas ou de discussão.

Em linhas gerais, essa SEI sobre dualidade onda-partícula explora a contradição dos

³ Parâmetros Curriculares Nacionais

modelos clássicos de explicação da natureza da luz a fim de verificar que os modelos não explicam alguns fenômenos envolvendo a luz em sua totalidade, sendo necessário um novo modelo. São utilizados Interferômetros de Mach-Zenhder e simuladores para observar o comportamento da luz e problematizar com os alunos o fato de um fóton único gerar um padrão de interferência. E, a partir de então, explorar as quatro linhas interpretativas da mecânica quântica (ondulatória, corpuscular, dualista-realista e complementaridade). Inicialmente, os alunos passam por uma discussão sobre o efeito fotoelétrico, além de também já terem discutido ao longo do ano fenômenos relativos à luz como interferência, reflexão e difração. Na sequência, esses conceitos são retomados e situações são criadas para problematizar o fato de que os modelos conhecidos da natureza da luz não explicam alguns fenômenos relativos a ela de forma satisfatória. Após o problema da incompatibilidade entre os modelos e os fenômenos observados, manuseia-se o interferômetro de Mach-Zenhder real e o simulador visando a entender o comportamento da luz no interferômetro. Posteriormente, discutem-se as possibilidades de fótons únicos no interferômetro, introduzindo os problemas conceituais nos quais os modelos explicam um ou outro fenômeno, mas nenhum consegue explicar todos. Discute-se, então, a dualidade onda-partícula para, ao término, debater sobre as quatro interpretações da mecânica quântica e como elas explicam os fenômenos vistos no interferômetro (interferência para um único fóton). A aplicação de toda a SEI ocorreu ao longo de 11 aulas e algumas delas se desenvolveram como aulas duplas.

Escolhemos para a análise as aulas 2 e 10 da SEI. A aula 10 compreende também a aula 11, pelo fato de, no dia, ter havido possibilidade de utilizar o tempo de duas aulas. Porém, para fins da análise, chamaremos apenas de aula 10. Como nosso objetivo é analisar a fala do professor e dos alunos, buscamos as aulas em que há diálogo constante e clareza na captação de áudio e vídeo. Por esse motivo, as duas aulas a serem analisadas são as que nos oferecem esses requisitos.

Cada aula foi dividida em partes que chamamos de momentos. Eles são a base para a seleção dos dados analisados e são, neste trabalho, partes da aula em que há uma situação dialógica na qual as ações do professor estão voltadas para um objetivo específico. Um momento pode ser uma introdução, uma discussão sobre um experimento, uma problematização, uma exploração de informações de um quadro, etc. Dentro de cada um destes momentos teremos pequenos recortes de turnos, em que há uma cadeia enunciativa pequena, em torno de uma discussão. Ou seja, um momento pode ter a duração, por exemplo, de 100 turnos de falas transcritas por se tratar de uma discussão

entre professor e alunos sobre uma mesma ideia. Dentro de cada momento, faremos um recorte de alguns turnos que possam ilustrar nossa análise. Em todos os momentos analisaremos as perguntas do professor de acordo com as nossas categorias e com os indicadores de AC dos alunos segundo Sasseron (2008).

A classificação de todos os turnos de acordo com as categorias seguirá de uma análise conjunta com o grupo de pesquisa sobre. De forma que todas as classificações sejam, ao menos revistas por mais de 3 pessoas, afim de se ter uma discussão e embasamento para atribuir àquela pergunta a categoria proposta e às respostas dos alunos os indicadores correspondentes.

4.1.1 Os limites dos dados e os procedimentos de conformação destes à análise

O fato de os dados serem oriundos de outra pesquisa carrega a perspectiva construída no seio da investigação proposta e, portanto, distinta da nossa. Entretanto, o que utilizaremos para a análise serão os dados em vídeo e as transcrições em conjunto com a proposta das sequências. Nosso objeto de análise são as perguntas do professor em relação aos indicadores de alfabetização científica e, para tal, o conjunto de dados disponível atende à nossa necessidade.

Devemos ressaltar ainda, que, frente à definição de pergunta construída nesta pesquisa, deveremos distinguir, nas transcrições já existentes, o que é uma pergunta válida para análise de uma expressão de entonação com pontuação interrogativa durante as falas. Em suma, nem sempre será a presença de um ponto de interrogação na transcrição que tornará a fala transcrita em uma pergunta tal qual definimos aqui. Do mesmo modo, pode ocorrer uma pergunta sem uma pontuação interrogativa.

Como foi discutido anteriormente, entendemos a pergunta como:

Um instrumento dialógico de estímulo à cadeia enunciativa. Sendo assim usado com propósito didático dentro da história da sala de aula para traçar e acompanhar a construção de um significado e de um conceito.

A partir disso, as transcrições do trabalho original foram reconstruídas. Esse processo foi feito com o acompanhamento simultâneo da transcrição original e do vídeo,

apontando e destacando quais são as perguntas relevantes à análise. A título de exemplo, muitas vezes os professores têm o hábito de falar com a sala de aula com afirmações seguidas de confirmação - “Nós vamos fazer isso, tá?”. Essa expressão, embora carregue corretamente o sinal de interrogação, pode não ser uma pergunta no sentido proposto por nós, caso verifiquemos se tratar somente de um hábito, ou uma forma de manter a atenção dos alunos. Assim, com as transcrições refeitas com base nos vídeos e na estrutura de elaboração da sequência e da aula, teremos o conjunto de dados a serem analisados. Essa análise, sobre a qual discorreremos, deve munir nossas evidências na busca pelas respostas às perguntas de pesquisa. Para cada uma delas, um requisito metodológico deve ser lembrado.

4.1.2 Quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula de Física em que os alunos resolvem um problema?

Para investigar essa questão, utilizaremos as categorias teóricas construídas *a priori*, baseadas em trabalhos cujo foco consoa com o ensino investigativo em Ciências e com as interações discursivas. Devemos, portanto, verificar em análise se essas categorias são válidas.

Na análise, destacaremos dentro da transcrição quais são as perguntas relevantes para serem classificadas, faremos uma breve descrição do sentido da pergunta no contexto da aula e a reformularemos de forma mais clara, colocando elementos presentes no espaço, no gesto ou no contexto em que o professor enuncia a pergunta e que não ficam nítidos somente com a transcrição da frase. A reformulação da pergunta não muda o seu sentido, ao contrário, busca deixá-la mais clara, dentro do padrão da norma culta e da estrutura morfossintática. Faremos isso deixando a pergunta com os elementos essenciais de uma oração – sujeito, predicado, verbo e objeto – sempre que possível. Dessa forma, temos uma pergunta contextualizada e mais clara, apenas para facilitar a classificação.

4.1.3 Que tipo de contribuição as perguntas podem trazer para um ensino que vise à AC?

Ao fazer a correlação entre as perguntas do professor feitas durante a aula

investigativa dentro da SEI e os consequentes indicadores de alfabetização científica, estabelecemos uma relação causal embasada no conceito de dialogia de Bakhtin (2000). Ou seja, a enunciação carrega um senso de responsividade e a resposta dos alunos é a expressão externa que dá continuidade à cadeia enunciativa. Como a pergunta do professor é dotada de propósito, essa relação causal caminha no sentido da construção de significados relativos à aula e à SEI, assim como a construção de elementos da AC. Como analisamos os indicadores de alfabetização científica levantados na interação com o professor, nos atentamos aos elementos discursivos apresentados pelos alunos que nos permitem inferir sobre as possibilidades argumentativas destes ao levantar hipóteses, apresentar justificativas, explicações, etc. Esse desenvolvimento é somente possível pela interação dialógica constante entre professor-alunos e alunos-alunos na aula.

Estabelecida essa relação causal, nossa análise buscará identificar os pares mais comuns de perguntas-indicadores, a fim de perceber relações no desenvolvimento de aspectos da alfabetização científica. Percebendo que pode haver uma relação entre determinadas perguntas realizadas pelo professor e indicadores de AC característicos, podemos compreender a pergunta como promotora de determinados indicadores em momentos diferentes da investigação. Por isso separamos as aulas investigativas em momentos específicos.

Como tratamos de aulas investigativas em nossa escolha da SEI a ser analisada – e esta promoveu elementos da alfabetização científica dos alunos –, temos mais um elemento para estabelecer a relação entre o comportamento discursivo do professor e suas perguntas com o desenvolvimento da AC. Podemos, assim, contribuir para um ensino baseado na prática investigativa, problematizadora e que vise à AC.

5. Análise

Conforme mencionamos no capítulo de metodologia de pesquisa, iniciaremos nossa análise pela aula 2 e, posteriormente, analisaremos a aula 10.

5.1. *Aula 2: o nascimento da Física Quântica.*

Esta aula tem como objetivo contextualizar um dos fatos relativos ao nascimento da Física Quântica: o problema da necessidade de adaptação da teoria aos dados experimentais. O fenômeno do efeito fotoelétrico expõe uma característica da luz corpuscular, o que contrasta com outros fenômenos também relativos à luz, como a interferência, que só é possível explicar tomando o modelo ondulatório da luz, estudado pelos alunos anteriormente. Para abordar o problema de adaptação da teoria existente aos dados experimentais novos, o professor inicia a aula relembrando conceitos, como o de ondas eletromagnéticas e as observações do efeito fotoelétrico realizadas com o simulador em outras aulas do curso, anteriores à implementação da SEI. Como a experiência do efeito fotoelétrico fez com que os alunos vissem a luz com um comportamento análogo ao de uma partícula, os dois modelos físicos da luz em questão na aula são o ondulatório e o corpuscular. Com uma apresentação em *PowerPoint*, o professor discute quatro situações relacionadas à luz para discutir quais modelos explicam as situações: 1) se a luz fosse uma partícula, os possíveis eventos gravitacionais que agem sobre ela; 2) uma reflexão de luz em um espelho; 3) um feixe de luz passando por duas fendas (interferência); 4) efeito fotoelétrico.

Esta aula apresenta um número grande de interações entre professor e alunos. São 202 turnos e cada um representa uma fala ou intervenção verbal. Dividimos a aula em quatro momentos principais: 1) a organização da sala e a lembrança das aulas anteriores e a introdução da aula; 2) retomada e discussão de conceitos e fenômenos envolvidos (efeito fotoelétrico e interferência); 3) investigação de situações clássicas (luz sob ação da gravidade, interferência, efeito fotoelétrico, reflexão); 4) problematização: se

as explicações clássicas não dão conta de explicar todos os fenômenos, o que deve ser a luz?

Momento 1: Organização da aula, lembrança das aulas anteriores e introdução da atividade

O primeiro momento se estende do turno 01 ao turno 08, nos quais o professor organiza a sala de aula. Os alunos estão conversando bastante. Em um dado instante, o professor muda um aluno de lugar e ameaça tirá-lo da sala. Estabelecido o silêncio, o professor retoma os temas discutidos em aulas anteriores e explicita o roteiro da aula dizendo o que será trabalhado.

T	Falas transcritas	Desc.	Reformulando a pergunta.	Clasf	Ind. de AC
1	Prof.: No nosso último encontro, é, nós respondemos a algumas questões. Olha, pessoal, eu vou contar com a colaboração, caso contrário nós sentaremos em ordem numérica, certo Joe? Então, no nosso último encontro a gente respondeu algumas questões sobre o efeito fotoelétrico, e aí ao invés da gente já trazer as respostas direto daquelas questões, nós vamos fazer uma pequena passagem, ou a gente pode pular isso também, porque acho que vocês já são "experts".				
2	Danilo: Por favor não				
3	Prof.: Quando vocês quiserem a gente começa, ou se não quiserem eu já fiz chamada, podem ir. Danilo tudo bem aí? Bom então vamos supor que todos vocês entenderam, eu vou passar rapidamente pela apresentação, se alguém tiver dúvida, para, se não tiver dúvida a gente vai em frente, ao final dessa aula eu passo uma outra sequência de exercícios pra vocês, ok? Muito bem. Então, o que nós faremos nessa aula é... a gente revisitar o que a gente estudou ao longo desse ano pra gente chegar até o efeito fotoelétrico, tá? Tá dando pra ler aí? É que a gente não pode apagar completamente se não a câmera não consegue filmar vocês, tá. O que ficar muito em dúvida, num momento que precisar ficar mais claro a gente apaga nesse momento. Então, o que a gente viu até agora?				
4	Luis: Não dá pra enxergar...				
5	Prof.: Calma que eu leio.				
6	A3 (não identificado): Apaga a luz.				
7	Prof.: Vou repetir que você não prestou atenção, a gente não pode apagar a luz porque se apagar a luz a câmera não consegue filmar vocês no escuro, então quando for necessário a gente apaga pra visão específica do quadro que for necessário, se não a gente vai ler com vocês. O Joe, faz uma gentileza pra mim senta na bancada ou pode sair. Mais alguém? Então, nós vimos um pouquinho de modelos, quando a gente discutiu modelo a gente discutiu os modelos que a física usa pra explicar a natureza das coisas, onda ou partícula, a gente verificou as propriedades elétricas e magnéticas da matéria. Quando a gente começou a estudar essas propriedades elétricas e magnéticas a gente falou então e discutiu um pouquinho sobre a indução de campos, particularmente campo elétrico e campo magnético. Depois a gente começou a estudar ondas, e aí a gente foi ver as propriedades das ondas, o que definia uma onda, quais as características que uma onda apresenta, a gente estudou depois luz, depois de luz a gente foi verificar os espectros, e aí a gente se deparou com dois tipos de espectros, contínuos e discretos, e pra explicar o modelo... pra explicar os espectros discretos a gente foi então fazer uso do modelo atômico de Bohr. E aí nas duas últimas aulas a gente tá conversando um pouquinho sobre o efeito fotoelétrico. Pra verificar se a gente tá lembrando as coisas vamos dar uma pequena passadinha por esses diversos tópicos. Então a gente quer chegar na discussão de dualidade onda-partícula, e pra chegar a isso a gente começou discutindo o que são ondas, certo? Então, o que definia, o que caracterizava pra gente onda? Uma onda transporta energia, sem que haja transporte de matéria, ela não é... ela se espalha, não tá bem localizada. E a gente tem dois fenômenos bastante associados às ondas que são os fenômenos da	As expressões interrogativas que aparecem neste turno são automaticamente respondidas pelo professor de modo que não as consideramos perguntas para nossa análise.			

	sobreposição de ondas e de interferência.				
8	A4 (não identificado): Você vai dar uma provinha?				

Tabela 11: transcrição do momento 1 da aula 2

Podemos observar que esse momento da aula não apresenta discussão sobre um conteúdo específico. Apenas uma introdução e retomada dos assuntos com os alunos. Sem a discussão sobre os conceitos, não há ainda a possibilidade de construção de significados. Não há perguntas com oportunidade dos alunos dialogarem. Aqui, o professor está explanando outros assuntos, preparando e anunciando as atividades do dia.

Embora não haja perguntas a serem classificadas ou indicadores neste momento, é importante para o bom desenvolvimento da aula esse momento de gestão do espaço, de organização do ambiente e anúncio das atividades para que os alunos possam ter ciência do que será tratado e quais informações e conceitos internalizados serão necessários para a discussão.

Momento 2: Retomada e discussão de conceitos e fenômenos ópticos (interferência, efeito fotoelétrico)

O segundo momento se inicia no turno 09 indo até o 61. Após relembrar os temas estudados em outras aulas, o professor retoma conceitos importantes para o entendimento do problema proposto para a aula sobre a natureza da luz, como espectro contínuo e discreto, e o efeito fotoelétrico. Nessa retomada, ele faz muitas perguntas aos alunos.

Selecionamos dois recortes deste momento para ilustrar as interações predominantes em relação às perguntas do professor e aos indicadores de AC. A classificação completa está no anexo B. O professor retoma conceitos necessários para o desenvolvimento da aula e o faz por meio de **perguntas de sistematização**, que, neste caso, objetivam saber o que os conceitos representam para os alunos. No cômputo dos indicadores de alfabetização científica, a maior ocorrência são de indicadores de explicação (5), **organização de informações** e **justificativa** (3).

No início da aula, ao falar da natureza da luz, o professor pergunta diretamente, no turno 09, “*O que é um espectro contínuo de luz?*”. Essa é uma **pergunta de**

sistematização, que exige resposta mediante o conhecimento construído pelos alunos em aulas anteriores. Essa pergunta não remete a uma articulação da observação ou a um processo, simplesmente requer uma resposta conceitualmente correta. Em resposta, os alunos respondem que não sabem definir. Então o professor pede um exemplo e, no turno 20, a aluna Clara responde “*Arco íris*”. O que se sucede está expresso no recorte do turno 21 ao 26:

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
21	Prof.: O arco íris. Por que que é contínuo?	Retomando conceitos. Busca uma explicação da aluna sobre a continuidade do arco íris	Por que o arco íris tem um espectro de luz contínuo?	Pergunta de sistematização	
22	Clara: Porque é uma seqüência. Você não tem um “buraco” sem... luz. Fica tudo junto, vai passando gradualmente de uma cor pra outra.				Justificativa
23	Prof.: Não tem o que GILBERTO?	Quer saber o que o aluno quis dizer com “buraco”.			
24	Gilberto: Não, é que nesse não tem interferência.				Justificativa
25	Prof.: Interferência do que?	Quer que o aluno se expresse melhor			
26	Gilberto: Do espectro contínuo....				Explicação

Tabela 12: recorte entre turnos 21 a 26 do momento 2 da aula 2

Ao observarmos a **pergunta de sistematização** do professor no turno 21, verificamos, em resposta a ela, **justificativas e explicações** por parte dos alunos. No turno 21, o professor pergunta “*por que o arco íris é um exemplo de espectro contínuo da luz*”. Essa pergunta envolve o conhecimento do conceito de espectro contínuo e necessita de uma justificativa para aquele exemplo, que é apresentada pela aluna Clara. Nesse caso, a pergunta de sistematização buscou explorar um conceito já visto em outras aulas e os alunos justificaram aquele exemplo como espectro contínuo. As perguntas de sistematização são específicas acerca de um conhecimento existente, e as respostas dos alunos podem, muitas vezes, ser dotadas apenas do conceito ou da informação requerida, ou da justificativa de uma colocação.

Com informações já discutidas e conceitos anteriores retomados, o professor apenas ajuda a relembrar a diferença entre espectro contínuo, espectro discreto e efeito fotoelétrico por meio de **perguntas de sistematização**. Em resposta, os alunos se veem diante de uma pergunta a partir da qual devem buscar a informação, **explicar, justificar e organizar as informações** para o decorrer da aula. São exemplos dessa relação os

turnos 21, 29 e 33, nos quais o professor pergunta o que é um espectro discreto (29) e o que é o efeito fotoelétrico (33). Parece-nos claro neste início a necessidade de perguntas de sistematização para retomar conceitos e ter a possibilidade de construir o problema que será trabalhado. As perguntas mais diretas como “*o que é isso?*” aparecem.

Na sequência da discussão, separamos um segundo recorte deste segundo momento em que, no turno 33, o professor recorre à imagem do efeito fotoelétrico visando a lembrar os alunos desse conceito. A imagem é apresentada com a ajuda de um slide em *PowerPoint*, para que os alunos acompanhem a retomada.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
33	Prof.: Tá fala. Isso? E aí a gente tem alguns exemplos que a gente observou lá da luz vinda de alguns lugares. E a gente tinha visto lá também a diferença entre espectro de emissão e de absorção, né? Bom, aí surge esse fenômeno que a gente discutiu nas duas ultimas aulas que é o efeito fotoelétrico. O que é efeito fotoelétrico Virgínia? O desenho ajuda vocês olha... o que tá acontecendo?	*retomando conceitos. Invoca o desenho para responder a algo que eles já viram. Requer observação sobre o fenômeno.	*O que é o efeito fotoelétrico? De acordo com o desenho o que acontece no efeito fotoelétrico?	*Pergunta de sistematização Perguntas sobre dados	
34	Luis: A luz tá batendo numa placa de metal e no metal tá tendo emissão de elétrons... é... acho que é elétrons mesmo.				Explicação
35	Prof.: Tá, então eu faço incidir no metal um feixe de luz, quando a luz bate nesse metal alguns elétrons são emitidos				
36	Gilberto: Mas na explicação, professor, dependendo da luz batia e ia elétrons, dependendo da luz batia e não ia elétrons				Justificativa

Tabela 13: recorte entre os turnos 33 a 36 do momento 2 da aula 2

Os alunos, diante da **pergunta de sistematização** “*o que é o efeito fotoelétrico*” (T 33), apresentam uma **explicação** citando o desenho e retomando a experiência anterior para responder à pergunta do professor. Esta requer uma resposta definitiva, articulada, que defina tal fenômeno uma vez que essa ideia já foi discutida em aulas anteriores. Embora os alunos tenham estudado tal fenômeno, o professor utiliza o desenho da apresentação para direcionar a resposta dos alunos com base na representação disposta. Com isso, no turno 34, Luis explica o fenômeno utilizando elementos da imagem e elementos de conhecimento próprio (elétrons). O professor confirma a explicação (T 35). Logo em seguida, Gilberto complementa a resposta com uma **justificativa** colocando o adendo de que nem sempre há emissão de elétrons e que isso dependerá do “tipo” de luz que é incidida. Nota-se, então, uma retomada por parte dos alunos de conceitos e fenômenos estudados anteriormente, e a **pergunta de sistematização** do professor

estimula essa lembrança.

Momento 3: Investigando situações clássicas (luz sob ação da gravidade, interferência, efeito fotoelétrico, reflexão da luz) para aplicar um modelo explicativo

O terceiro momento da aula transcorre entre os turnos 62 e 171. Após buscar relembrar os conceitos de interferência, reflexão e efeito fotoelétrico, no turno 62, o professor introduz o problema central a ser trabalhado: “A luz é onda ou é partícula?”. Todo o processo de sistematização sobre as experiências e saberes anteriores dos alunos contribui para o esclarecimento do problema e o desenvolvimento da aula no seu terceiro momento, iniciado no turno 62.

Conforme explicitado, o objetivo da aula é o problema de adaptação da teoria conhecida para o comportamento da luz aos dados experimentais observados. Para isso, o professor relembra dois aspectos (teoria anterior e exemplos experimentais) que os alunos já viram sobre as situações envolvidas a fim de se construir o problema do comportamento dual da luz. Então, o professor explora as situações clássicas da reflexão da luz em um espelho – da interferência da luz, do efeito da gravidade em um fóton de luz e do efeito fotoelétrico – a fim de aplicar os modelos existentes para tentar explicar os conceitos trabalhados no momento anterior. Devemos lembrar que chamamos essas situações de clássicas em oposição ao conhecimento da Física Moderna sobre os fenômenos em questão.

Separamos para a análise dois recortes entre os 109 turnos deste momento da aula para ilustrar a forma predominante como ocorrem as perguntas do professor e os indicadores de AC dos alunos. Em números gerais, temos 32 perguntas feitas pelo professor, sendo 14 sobre dados, 7 exploratórias sobre o processo, 6 de sistematização, 5 de problematização. Os tipos de perguntas mais observados no meio da aula são as perguntas sobre dados. Em relação aos indicadores de AC, temos os de levantamento de hipóteses como maioria dos 32 indicadores, com 8 ocorrências, e, em seguida, a organização de informações e explicação (7), e previsão (6). Tal disposição, entretanto, se dá em relação ao tipos de perguntas distintos.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
---	-------------------	-----------	--------------------------	---------------	-----------------

62	Prof.: Ah... aquilo é só foto da época. Tudo bem? Então a mecânica quântica vai surgir a partir, a mecânica quântica então começa a surgir a partir dessa, do estudo dessa radiação quando os corpos eram aquecidos. Um físico chamado Max Planck vai conseguir determinar qual é... vai chegar matematicamente à observação dessa curva dos espectros de radiação e aí vem o que a gente já discutiu um pouquinho nas últimas aulas a questão de ser... de que os valores de energia são discretos, dependem da constante de Planck e tal... bom, mas voltemos à nossa questão primeira, lá de fevereiro, o que afinal é a luz. Continua a pergunta, é onda ou é partícula?	Refaz a pergunta central da investigação	A luz é onda ou partícula?	Pergunta de problematização	
63	A23: Não dá pra ser as duas?			Pergunta de problematização	Levantamento de hipóteses
64	Prof.: Ahn?				
65	Patrícia: Não dá pra ser as duas?			Pergunta de problematização	Levantamento de hipóteses
66	Prof.: Calma, pra gente discutir isso, se dá ou não, pra saber a gente vai pensar em quatro situações.				
67	Gilberto: Professor, a luz não pode ser partícula com propriedades de onda?			Pergunta de problematização	Levantamento de hipóteses
68	Prof.: Guarda essa sua pergunta pra gente discutir.				
69	Eduardo: Qual a pergunta dele?				
70	Prof.: Ele tá dizendo assim, olha uma partícula pode ter propriedades de onda?				
71	Eduardo: É isso que eu to pensando, uma bolinha, sabe?				Levantamento de hipóteses
72	Prof.: Guarda essa sua representação também.				
73	Gilberto: Eu tava conversando que pode ser uma onda com propriedade de partícula, uma partícula com propriedade de onda.				Levantamento de hipótese/ Explicação

Tabela 14: recorte entre turnos 62 a 73 do momento 3 da aula 2

Logo após a **pergunta de problematização** ser lançada, no turno 62, os alunos começam a se manifestar lançando outras perguntas. A colocação do problema no turno 62 é importante para situar os alunos da contradição entre os dados observados e os modelos explicativos. O professor recorrerá a uma série de situações as quais cada modelo – corpuscular e ondulatório – não consegue explicar corretamente.

Após a **pergunta de problematização** ter sido feita, os alunos começam a testar possibilidades perguntando ao professor se a luz poderia ser algo diferente do que é para os dois modelos vigentes. No turno 63, imediatamente após a pergunta, Patrícia questiona: “*não pode ser as duas coisas?*”. Essa pergunta contém uma **hipótese** para o professor confirmar. Ele confirma o que foi dito (T 63) e o aluno repete a hipótese (T 65). O professor, então, sabendo que o aluno está antecipando o rumo da discussão – já que a interpretação dualista-realista dirá que a luz é ao mesmo tempo onda e partícula –, pede calma e retoma ao planejamento da atividade, que é discutir as quatro situações hipotéticas.

No turno 66, o professor diz: “*Calma, pra gente discutir isso, se dá ou não pra saber a gente vai pensar em quatro situações*”. Logo em seguida, no turno 67, a pergunta de

Gilberto lança uma hipótese: “Professor, a luz não pode ser partícula com propriedades de onda?”. Novamente, a **hipótese** levantada pelo aluno antecipa uma interpretação prevista da luz, a da complementaridade. O professor continua administrando a atividade sem responder ao aluno, mas solicitando que ele guarde a pergunta.

Após a dúvida surgida na pergunta de Gilberto, Eduardo levanta uma hipótese – desta vez, sem perguntar diretamente ao professor, mas expressando seu pensamento. Vemos isso no turno 71: “É isso que eu tô pensando, uma bolinha, sabe?”. Novamente, o professor pede para que o aluno guarde aquela representação. E sem tempo de resposta, Gilberto novamente lança mais uma hipótese, no turno 73: “Eu tava conversando que pode ser uma onda com propriedade de partícula, uma partícula com propriedade de onda”. O professor, então, solicita que Gilberto anote aquele pensamento e imediatamente começa a discutir o planejado sobre as quatro situações hipotéticas.

Podemos perceber que os alunos estão engajados no problema, articulando **hipóteses** para tentar resolvê-lo. Entretanto, o professor seguiu os passos estruturados, exatamente para possibilitar, ao longo da aula, que os alunos tivessem mais elementos para discutir o problema.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
087	Prof.: 300.000 km/s por exemplo. O que vai acontecer? O que deveria acontecer?	Contando que a luz seja uma partícula se movendo a essa velocidade o que vai acontecer com os efeitos gravitacionais	Como seria a ação da gravidade em uma bolinha com a velocidade de 300.000km/s?	Perguntas exploratórias sobre o processo.	
088	Ademar: Uma hora ela vai perder velocidade.				Levantamento de hipótese
089	Prof.: Não, só se tiver resistência. Mas mesmo assim não tem, ela tá no espaço. Fora da atmosfera. O que vai acontecer? Posso pensar numa situação semelhante ao movimento da Lua em torno da Terra? O que vai acontecer com a luz?(18) Vai ficar em órbita não é isso? Mas se eu pegar um trecho pequeno, o que vai acontecer? Eu jogo daqui, tô mirando aqui na cabeça dela, vai cair a onda? (19)	Ao citar o movimento da lua em torno da terra o professor se faz valer de uma analogia para que os alunos possam associar os efeitos gravitacionais na luz, tal qual na lua. O fato de haver uma interrogação em sua fala não torna uma pergunta pois ele mesmo retoma e não dá oportunidade dos alunos responderem. É um recurso para direcionar o exemplo.	Para uma pequena distância o que acontece com os efeitos da gravidade em uma partícula com a velocidade de 300.000km/s?	Perguntas exploratórias sobre o processo.	
090	A30 (não identificado): Na cabeça dela.				Previsão
091	Prof.: Não. Vai cair exatamente onde eu			Perguntas	

	mirei?			exploratórias sobre o processo.	
092	A30 (não identificado): Não.				Previsão

Na sequência, no segundo recorte que separamos deste momento, o professor começa a discutir efetivamente os quatro casos clássicos para entender o comportamento da luz em cada um. O primeiro caso discutido é o da luz como partícula sujeita a um campo gravitacional.

Tabela 15: turnos 87 a 92 do momento 3 da aula 2

Nesse trecho da discussão, as **perguntas exploratórias sobre o processo** aparecem associadas também à criação de uma situação hipotética baseada em ideias e evidências. A situação é hipotética pois não consegue medir o desvio da luz sob a ação da gravidade. Sabe-se hoje que esse desvio existe e é calculado pela geodésica, elemento central da teoria da relatividade geral de Einstein. Naquele momento, não era objetivo do professor promover essa discussão, ele apenas trabalhou um evento hipotético para conferir uma natureza corpuscular à luz.

Nos turnos 87, 89 e 91 deste recorte do terceiro momento da aula, o professor explora uma situação em que a luz é uma partícula que se desloca à velocidade de 300.000km/s e tenta articular com os possíveis efeitos gravitacionais agentes nesta partícula. No turno 87, a pergunta “*Como seria a ação da gravidade em uma bolinha com a velocidade de 300.000km/s?*” traz uma situação hipotética sem evidências observáveis e, portanto, exige uma articulação de ideias em consonância com o que os alunos conhecem sobre a luz. É importante notar que, embora a equação da geodésica obtida na relatividade geral de Einstein descreva efeitos gravitacionais agindo no espaço-tempo e curvando a luz, o professor não explicita essa descrição, pois sua ideia é mais simples, ou seja, imaginar qual poderia ser a “queda” observável de um feixe de luz sob a ação da gravidade, mantida a velocidade absoluta da luz.

Diante da **pergunta exploratória sobre o processo**, feita pelo professor no turno 88, Ademar cria uma **hipótese** de que a gravidade pode desacelerar a luz, “*uma hora ela vai perder velocidade*”. Na sequência, o professor recorre a uma analogia com o movimento da lua para que os alunos possam associá-lo ao movimento da luz. Após o uso dessa analogia, o professor cria uma nova experiência de pensamento supondo a mira do laser na cabeça de uma aluna e pergunta, no turno 89, se a onda vai cair. No turno seguinte, o aluno A30 (não identificado) responde dizendo que o laser atingirá a

cabeça da menina. Essa resposta representa uma **previsão**, talvez por associar a mira laser a armas presentes em filmes, etc. E em casos como esses, vistos no dia a dia, parece não haver efeito gravitacional. O professor, então, talvez percebendo essa condição, nega a previsão de A30 (não identificado) e refaz a pergunta, desta vez com mais acurácia: “*Vai cair exatamente onde eu mirei?*” (T 91). A resposta imediata é do próprio A30, cuja previsão anterior foi negada: “*Não*”.

Podemos observar desse recorte que, diante de uma situação em que os alunos não têm evidências diretas, eles criam **hipóteses e previsões**. O professor desenvolve, para cada exemplo de fenômeno (reflexão, interferência, efeito fotoelétrico), uma situação clássica na qual os alunos têm que demandar seus conhecimentos, observações e articulações de ideias para compreender a situação.

Após esse recorte do momento da aula, o professor passa a explorar qual tipo de modelo é mais plausível para explicar aquelas situações. Isso se dá por meio de perguntas de sistematização. Depois de todas as situações delimitadas, o problema, mais uma vez, é ressaltado: não se tem um modelo único para explicar todos os exemplos mostrados, o que acentua a importância de buscar entender a natureza da luz.

Na sequência, muitas **perguntas sobre dados** aparecem quando o professor está explorando os fenômenos, na medida em que os alunos, em tese, conhecem o fenômeno tratado e têm, juntamente com as imagens e exemplos do professor, dados postos para responder às perguntas.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
099	Prof.: Tem um ângulo, lógico que é. Tá aqui a mira, tem um ângulo aqui, ela tá inclinada. Eu to mirando aqui, se eu me afastar dele eu vou tá mirando ainda o conjunto afasta junto. Então já tá previsto. Bom, mas voltemos ao nosso tiro de luz aqui. Então a gente tem uma distância aí da fonte até o anteparo de 5m e pelo que vocês estavam dizendo vai ter um pequeno desvio pra baixo, certo? Vamos fazer de conta que a velocidade da luz seja 300.000 km/s e que a ação da gravidade é de 10m/s^2 , né Julia? Então a gente direcionou o feixe de luz pra cá e vai abrir uma distância h aqui, uma altura h entre o ponto que a gente esperava e o que a ação da gravidade vai levar pra baixo, isso vai nos comprovar, se a gente fizer isso, que a luz é partícula. Pensando nessa velocidade da luz, pensando no raio terrestre, a luz demora um décimo de segundo pra dar a volta na Terra. Então em um décimo de segundo a luz dá a volta na Terra cujo raio é da ordem de 6.970km. Então significa que 5m vai ser num tempo infinitamente menor. Se isso acontecesse pra gente medir dessa forma, essa distância que a gente tá querendo calcular aqui como	Dada a suposição da situação 1. Não é	Posto que não podemos medir a queda da luz pela atração	Perguntas exploratórias sobre processo.	

	desvio da luz seria de aproximadamente $10^{-16}m$, ou seja em 5m, que é a distância que a gente tá medindo, o desvio que a luz sofreria é de 0, quinze 0 um atrás do outro 1 metro. E pra gente comparar o diâmetro de um átomo é da ordem da $10^{-10}m$ ou seja essa distancia que a gente espera que dê é muito menor que o diâmetro atômico, a gente não tem condição então de medir com os instrumentos que a gente possui hoje, pra gente ter uma noção, um livro com 100, 150 páginas, essa espessura, tem aproximadamente essa quantidade de átomos enfileirados um atrás do outro. Então se a gente pegar um livro com aproximadamente 100 páginas, essa espessura aqui tem essa quantidade de átomos, se a distância que a gente vai medir é muito menor que um único átomo pra esta nossa primeira preocupação, o que a gente pode inferir? Dá pra dizer que a luz é uma coisa ou outra? Eu posso afirmar que a luz é partícula? Mas posso afirmar que ela não seja? Também não. Então pra essa nossa preocupação, se a luz é partícula e ela interagir com outros corpos sofrendo a ação da gravidade, sofreria um desvio e esse desvio é tão pequeno que a gente não tem instrumento pra medir. Então nessa primeira situação a gente não consegue obter informação a respeito, certo? Nessa segunda situação a luz interagindo com um espelho o que acontece? Tem um espelho aqui, emito um raio de luz o que vai acontecer com esse raio de luz?	possível medir por isso não se pode afirmar nem uma coisa nem outra. O professor explora a situação hipotética fazendo os alunos pensarem sobre as possíveis explicações	gravitacional, podemos afirmar que ela é partícula? Podemos afirmar que ela não é?		
		Para a segunda proposta, ele coloca a situação sobre algo que os alunos já viram.	O que acontece com a luz emitida em um espelho?	Pergunta de sistematização	
100	Eduardo: Vai ser refletido.				Previsão/ explicação
101	Prof.: Vai ser refletido. Qual é a condição de reflexão?(25) Tem que voltar no mesmo ângulo que incidiu, não é isso? Então a condição é manda um raio de luz pro espelho volta no mesmo ângulo, não é isso? E aí pra essa situação eu posso responder se a luz for partícula a partícula bate no espelho e é refletida, se a luz for onda bate no espelho e também é refletida. A que conclusão a gente chega?(26)	Busca uma resposta de um conceito. Expõe a situação em que a luz pode ser as duas coisas (onda e partícula) pede uma conclusão	Qual a lei da reflexão? Se a luz como onda bate no espelho e reflete e a luz como uma partícula bate no espelho e também reflete, qual a conclusão?	Pergunta de sistematização Pergunta de sistematização	
102	Cristina: Nenhuma.				
103	Prof.: Pode ser onda ou partícula, certo? Terceira situação, agora eu tenho uma luz emitida por uma fonte que atravessa um anteparo que tem duas fendas, então vamos pensar numa chapinha, essa chapinha tem dois cortes, né, duas fendas e aí algo semelhante a isso aqui, certo? Então a gente tem um anteparo com duas fendas e a gente faz incidir sobre ele uma fonte de luz. O que vai acontecer? O que acontece? Aqui é uma fenda aqui é outra fenda, mesma fonte de luz, passa por aqui e aí o que vai acontecer? Se a luz bater aqui [na parte onde não há fenda] o que acontece?	Problema da fenda. O que acontecerá na situação três. Os elementos para responder a questão não são evidentes Exemplificou a questão. Para direcionar o olhar dos alunos a descartar variáveis	O que acontece quando incidimos uma luz em duas fendas? O que acontece quando a luz bate em um objeto opaco?	Pergunta de problematização Perguntas sobre dados	
104	Nicolau: Ela passa.				Previsão
105	Prof.: Passa?				
106	Nicolau: Bate e volta.				Previsão
107	Prof.:Bate e volta se o objeto for opaco, é isso? Se bate aqui [no vão da fenda]?(28)	idem	O que acontece quando a luz passa por uma fenda?	Perguntas sobre dados	
108	Nicolau: Passa.				previsão
109	Prof.: Passa, vai ficar aqui assim, certo? Se bate aqui	idem	O que acontece	Pergunta sobre	

	[no vão da outra fenda]? Passa também, eu vou ter outra linha aqui, certo? Posso ter um pequeno desvio pra um lado ou pro outro dependendo do ângulo de incidência, não é isso? Aqui então deve ser sombra, não deve ter marca nenhuma, não é isso? Aquela região vai ser uma região de sombra.		quando a luz passa por uma fenda?	dados.	
110	Augusto: Só se a luz não estiver muito inclinada.	Se o ângulo de incidência nas fendas não for muito excêntrico			explicação

Tabela 16: recorte entre os turnos 99 a 110 do momento 3 da aula 2

As **perguntas sobre dados** referem-se a situações experimentais hipotéticas, às quais o professor recorre para perguntar aos alunos sobre os fenômenos envolvidos. É o caso verificado no turno 99: “*Tem um espelho aqui, emito um raio de luz o que vai acontecer com esse raio de luz?*”. Cria-se uma situação experimental hipotética, em que os alunos já conhecem os fenômenos envolvidos, e se explora o que os alunos sabem para dizer o que acontecerá. O mesmo acontece nos turnos 103, 107 e 109.

Discutindo a terceira situação clássica, sobre a interferência de luz, o professor mostra uma figura de fenda dupla e problematiza para que os alunos prevejam o que acontecerá na situação montada. Ao mesmo tempo, ele já simplifica a pergunta para uma especificidade da montagem que é prever o que acontece quando a luz se depara com a parte opaca, e ele indica com a mão: “*Se a luz bater aqui [na parte que não há fenda] o que acontece?*” (T 103). Essa pergunta explicita uma previsão de uma montagem simples. Nicolau responde que a luz passará e o professor então repete a sentença de Gilberto, indagando-o: “*passa?*” (T 105). Assim, ele nega a explicação do aluno. Tanto que, imediatamente, Nicolau fala sua **previsão** – “*bate e volta*” (T 106) – e, no mesmo momento, o professor confirma a previsão de que, naquele lugar, o objeto é opaco e a luz não atravessará, e passa para outra situação: “*Se bate aqui [no vão da fenda]?*” (T 107). Desta vez, eliminada a hipótese de voltar, um aluno responde corretamente à previsão: “*passa*”.

O professor desenvolve, então, alguns casos hipotéticos para lembrar os alunos sobre o fenômeno da interferência. Como ele expõe situações simuladas, os alunos devem prever o que acontecerá em determinada situação. E é o que eles apresentam. Esse levantamento de previsibilidade será importante para o professor retomar o conceito de interferência na medida em que, por meio da observação dos dados dispostos e dos conhecimentos dos alunos sobre a luz, possibilita prever a situação para depois explorar

que tipo de modelo da natureza da luz pode explicar o fenômeno relativo à aquela situação, que os próprios alunos concluíram.

Logo em seguida, o professor sistematiza a situação para que os alunos possam concluir sobre o modelo aplicado à situação das fendas mostrando as figuras de interferência de ondas e perguntando sobre os motivos da formação daquele padrão.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
113	Prof.: Se for partícula. Mas a gente observa nesse ponto aqui, que é esse ponto aqui, a gente observa a presença de linhas ali, e aí a gente não consegue explicar isso como partícula, agora como onda a gente consegue explicar através de que fenômeno?	Com a figura dada de interferência pergunta qual fenômeno pode explicar aquilo. Um conceito já visto.	Qual fenômeno que explica uma figura desta?	Pergunta de sistematização	
114	Av:[inaudível]				
115	Prof.: Mais que isso.. vão chutar todos?				
116	Alice: Interferência				explicação
117	Prof.: Interferência. Lembram disso? A gente pode ter interferência construtiva ou destrutiva, e aí quando a interferência é construtiva vai aparecer e quando é negativa as ondas se anulam. A gente observa... foi isso aqui que a gente viu quando a gente fez a observação aqui na parede, que a gente colocou um feixe de luz passando por uma rede de difração e aí o que a gente observou foram esses pontos aqui, isso aqui é foto tirada aqui na sala de aula. Bom, com essa terceira observação, o que a gente conclui até agora?	Unindo a observação de que a luz se comporta como onda em uma dupla fenda o professor quer que os alunos concluam por hora que a luz é onda	Se nesta montagem a luz apresentou uma natureza de onda, o que podemos concluir até agora?	Pergunta de sistematização	
118	Av:[inaudível]				
119	Prof.: Nessa situação eu só posso concluir que a luz é...				
120	Av: Onda				explicação
121	Prof.: Onda. As duas primeiras posso explicar como onda ou como partícula, aqui eu só consigo...				

Tabela 17:recorte entre turnos 113 a 121 do momento 3 da aula 2

Aqui, algumas **perguntas de sistematização** aparecem seguidas, na maioria das vezes, de indicadores de **explicação**. O professor mostra a figura observada (de interferência), perguntando qual fenômeno explica aquele padrão – uma **pergunta de sistematização** para que os alunos o identifiquem. Como resposta, no turno 116, a aluna Alice responde com o fenômeno esperado: “*Interferência*”. O professor confirma a intervenção da aluna e explana o fenômeno em questão. Em seguida, ele conclui junto aos alunos qual dos modelos para a natureza da luz explica a interferência e, no caso, ela só pode ser explicada com a luz sendo onda. Após a explanação o professor pergunta qual modelo explica a interferência (T 119), e um aluno já conclui, dizendo que naquele caso a luz tem de ser onda.

Nos pequenos recortes apresentados, o professor explora uma situação com dados

evidentes e, após ter ficado claro o exemplo, passa a fazer **perguntas de sistematização** para que os alunos **concluam** que a interferência a luz só pode ser explicada como onda (T 120).

Momento 4: Problematização - Se os dois modelos clássicos não dão conta de explicar todos os fenômenos, o que deve ser a luz?

O quarto e último momento da aula vai do turno 172 ao turno 202. Após os conceitos serem retomados no momento 2 e os exemplos de situações clássicas articularem os conceitos e os exemplos no momento 3, verifica-se uma incongruência entre os modelos ondulatório e corpuscular disponíveis e suas impossibilidades de explicar todos os exemplos dados. Essa constatação acontece no término do momento 3 e, após ela ser feita, o problema se acentua novamente, ou seja, como explicar a natureza da luz?

O quarto momento da aula é voltado ao problema que será levado para o resto da SEI: “o que é a luz?”. Nesta etapa de fixação do problema, o professor recapitula os passos da aula. Ao todo, são 7 perguntas, sendo 4 de problematização e 3 de sistematização. Os alunos, por sua vez, apresentam três tipos de indicadores de AC: levantamento de hipótese (6), explicação (3) e organização de informações (2).

O recorte entre o turno 178 e 187 ilustra como o professor sistematiza a discussão com a classe para ter condições de retomar o problema da SEI e, logo após (entre os turnos 187 e 195), problematizar a questão da natureza da luz.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
178	Prof.: Eu não acho nada. Gente, aqui tem um resumo então dos fenômenos e das explicações, possíveis ou não, pra cada um dos dois modelos. Então nesse quadrinho aqui a gente tem, né... pra esses fenômenos. Olhando pra esse quadro, a gente pode falar que a luz é uma onda?	Resume as situações expressas nas quais não se explica inteiramente todos os casos com nenhum dos dois modelos.	Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é uma onda?	Pergunta de sistematização	
179	Diversos: Mais ou menos.				explicação
180	Diversos: Não.				explicação
181	Prof.: Posso dizer que é uma onda? Posso?	Refaz a pergunta	idem	Pergunta de sistematização	
182	Av: Não.				explicação
183	Prof.: Se ela é onda, ela explica tudo isso aqui, certo? Explica aqui? Então pode ser onda?		Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula,	Pergunta de sistematização	

			podemos afirmar que é uma onda?		
184	Diversos: Não.				explicação
185	Prof.: Porque não explica esse fenômeno. Olhando pra cá, posso dizer que é partícula?	idem	Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é uma partícula?	Pergunta de sistematização	
186	Av: Não.				explicação

Tabela 18: recorte entre os turnos 178 a 186 do momento 4 da aula 2

As **perguntas de sistematização** são elaboradas para rever as quatro situações clássicas (fóton sobre a ação da gravidade, reflexão, interferência e efeito fotoelétrico) e concluir que não há modelo capaz de explicar todos os casos. No turno 178, o professor pergunta: “*Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é uma onda?*”. Os alunos respondem, apresentando **explicações**: “*mais ou menos*” (T 179), “*não*” (T 180). Ele refaz a pergunta no turno 181, obtendo a mesma resposta. Então, ele somente muda a natureza do objeto para que os alunos concluam que nenhum modelo pode explicar os fenômenos observados. No turno 185, o professor pergunta “*Olhando pra cá, posso dizer que é partícula?*” e a resposta vem imediatamente: “*Não*” (T 184).

Para as **perguntas de sistematização** no recorte do quarto momento, os alunos articulam o que acabaram de discutir, o quadro da apresentação do professor e o que já sabiam anteriormente para responder objetivamente ao professor, o que consideramos como **explicação/conclusão**.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
189	Prof.: Porque assim, se os dois modelos que a gente tem explicam parte dos fenômenos, e esses dois modelos são excludentes. Eu posso dizer que é as duas coisas?	Reforça a conclusão da aula de que não se pode explicar os casos com somente um modelo, nem com os dois.	Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é uma partícula?	Pergunta de problematização	
190	Teresa: Em determinada situação...				Levantamento de hipóteses/ explicação
191	Augusto: É intermediário.				Levantamento de hipóteses/ explicação
192	Prof.: Uma terceira coisa? Lembrando desde o início lá, nossa primeira discussão sobre modelo, onda e partícula são excludentes. Onda tá espalhada, partícula tá localizada, certo? Começa por aí, algo pode estar ao mesmo tempo bem localizado e espalhado? Dá pra ser ao mesmo tempo	Reforça a conclusão colocando o fator do tempo e as características dos objetos físicos onda e partícula. Problematicando.	Se a luz está espalhada no espaço e a partícula está bem localizada, algo pode estar ao mesmo tempo	Pergunta de problematização	

	as duas coisas?		espalhado e localizado?		
193	A61: Depende.				Levantamento de hipótese/explicação
194	Prof.: Depende, né? O que a gente tem até agora é isso aqui: interferência eu só consigo explicar como onda, efeito fotoelétrico, só consigo como partícula...				
195	A62: A luz não poderia ser uma exceção?			Pergunta de problematização	Levantamento de hipótese

Tabela 19: recorte entre os turnos 189 a 195 do momento 4 da aula 2

Por fim, após toda a discussão há a introdução da problemática maior da SEI sobre a natureza da luz. Isso pode ser visto no recorte a seguir.

No turno 189, aproveitando a sequência de perguntas de sistematização que faz com que os alunos concluam sobre a não explicação dos fenômenos apresentados somente como onda ou somente como partícula, o professor faz uma **pergunta de problematização**: “*Posso dizer que é os dois?*” (T 189). Essa é uma situação nova que excede o conhecimento clássico sobre a luz. Os alunos respondem com **levantamento de hipóteses**. No turno 190, Teresa diz “*Em determinada situação*”. No turno 191, mais uma hipótese, desta vez de Augusto: “*É intermediário*”. Diante da situação nova e da problemática expressa pela pergunta, os alunos levantam hipóteses para tentar solucioná-la.

No turno 192, o professor relembra os alunos da característica de cada um dos modelos clássicos explicativos para luz, de que a luz como onda está espalhada no espaço e a partícula está bem localizada. Em seguida, o professor faz outra **pergunta de problematização**: “*Onda tá espalhada, partícula tá localizada, certo? Começa por aí, algo pode estar ao mesmo tempo bem localizado e espalhado? Dá pra ser ao mesmo tempo as duas coisas?*” (T 192). O restante das aulas terá esse norte. Esse é o problema central da SEI e foi colocado somente no final da aula. Depois de resumir e organizar as informações das discussões, o professor problematiza mais uma vez o foco da investigação e, assim como visto nos momentos anteriores, a **pergunta de problematização** é acompanhada por indicadores de **levantamento de hipóteses e explicação**. Porém, os alunos já têm elementos para saber que a luz tem, de fato, comportamentos diferentes em diferentes situações. Ao responder as perguntas do professor, embora não saibam explicar qual é então a natureza da luz, os alunos têm elementos para afirmar que serão diferentes, por isso dão respostas de levantamento de

hipóteses e de explicações.

5.1.1 *Observações gerais acerca da aula 2*

A aula 2 é uma aula introdutória da SEI e apresenta um número grande de interações entre professor e alunos. O professor centraliza a discussão, realizando muitas perguntas para os alunos. Nessa aula, o professor retoma grande parte dos conceitos e experiências abordados anteriormente à sequência. Tal relação é marcada pela presença de **perguntas de sistematização**, com as quais se pergunta objetivamente o que é um conceito ou uma lei. Com essas perguntas, os alunos apresentam um grande número de indicadores de **explicação**.

São observadas também **perguntas sobre dados**, com as quais se retoma dados observados nas montagens clássicas, como a imagem das fendas e do efeito fotoelétrico - neste caso, dados para auxiliar os alunos a lembrarem dos fenômenos. Às perguntas de dados os alunos apresentam grande número de indicadores de **previsão**. Notamos também uma aparição de **perguntas exploratórias sobre o processo** relacionadas a situações onde são avaliados casos não evidentes e articulados conceitos estabelecidos com situações empíricas hipotéticas ou não.

Ao término da aula, ocorre a sistematização das conclusões e das incongruências dos modelos ondulatório e corpuscular. Com isso, é possível estabelecer o problema central da sequência: “Qual é a natureza da luz?” – que, na sua categoria, é uma pergunta de problematização. Os alunos seguirão durante a SEI investigando outros experimentos e simuladores em busca da resposta.

5.2 *Aula 10: Interpretações da Mecânica Quântica*

Como dissemos, a aula 10 (que também compreende a aula 11) é a última da SEI. Ou seja, entre a aula 2 e a aula 10, como podemos ver no anexo A, os alunos vão ao laboratório, manuseiam em grupos o interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ) para verificar

os padrões de interferência e discutem os resultados. Vão também ao laboratório de informática para explorar o interferômetro virtual, no qual é possível reduzir a intensidade da luz emitida pela fonte até um fóton individual. E, por fim, discutem os procedimentos e conceitos relativos aos experimentos.

Os objetivos da aula 10 são apresentar as quatro interpretações para o comportamento do fóton no interferômetro de Mach-Zehnder e mostrar que nenhuma delas explica o comportamento do fóton individual de forma completamente satisfatória.

Os alunos estão dispostos em círculo, o professor retoma as discussões sobre a interferência no IMZ e problematiza sobre como explicar o fenômeno da interferência para um único fóton. Os alunos têm em mãos uma folha com a atividade que deverão fazer e entregar após a discussão para buscar entender a natureza da luz. Há uma apresentação em PowerPoint em que o professor mostrará as quatro linhas interpretativas da mecânica quântica para a natureza da luz (ondulatória, corpuscular, dualista-realista e complementaridade). O professor promove um debate entre os alunos e, ao término, sistematiza a aula, salientando que nenhuma das interpretações é totalmente satisfatória para explicar completamente o comportamento do fóton no interferômetro. Em seguida, entrega as atividades finais aos alunos.

Essa aula tem 307 turnos, um número grande de interações entre professor e alunos devido ao debate promovido pelo professor (anexo C). Separamos a aula em 6 momentos principais: 1) introdução, lembrança do experimento do interferômetro e das figuras de interferência observadas; 2) exploração do fenômeno de interferência da experiência tanto para a luz quanto para os fótons individuais comparando as figuras formadas; 3) o problema da interferência para um único fóton no interferômetro; 4) as quatro interpretações da mecânica quântica para a natureza da luz; 5) as explicações das quatro interpretações para a interferência com apenas um fóton – nas quais o professor explora as interpretações junto com os alunos para ver como cada uma delas pode explicar a interferência de um fóton; e 6) sistematização das explicações das quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton.

A seguir, veremos com mais detalhes cada um desses momentos da aula.

Momento 1: Introdução da aula, lembrança do experimento do interferômetro e das figuras de interferência observadas

O primeiro momento da aula vai do turno 1 ao turno 31. Ela começa com uma fala do professor retomando o que foi visto nas últimas aulas, desde a aula 2 – em que o problema da natureza da luz foi colocado – e passando pela experiência com o interferômetro de Mach-Zehnder real e o simulador, as atividades e discussões. O professor distribui uma folha com as atividades a serem feitas após a discussão. Ele resume como será a aula, retomando conceitos e experiências de modo a tentar entender a luz. Com isso, começa a relembrar o experimento do IMZ, seus componentes e a função de cada um deles. Esse processo de introdução é importante para poder situar os alunos sobre quais assuntos serão tratados no decorrer da aula e quais conceitos serão demandados. Nessa introdução, o professor lança mão de algumas perguntas também.

Por parte do professor são seis perguntas, sendo cinco sobre dados e uma de problematização. O professor se volta para a explicação das franjas de interferência com a mudança de anteparo no experimento. No IMZ, conforme a imagem abaixo, quatro semiespelhos dividem a passagem da luz fazendo com que no anteparo se verifique um padrão de interferência (imagem 2). Os alunos manusearam o aparelho, obstruindo o caminho da luz em trechos e verificando a imagem formada.

Imagem 1: representação do Interferômetro de Mach-Zehnder

Imagem 2: figura de interferência formada no IMZ

Os alunos apresentam cinco tipos de indicadores de alfabetização científica: cinco de organização de informações, quatro justificativas, três explicações, uma classificação e uma explicação com raciocínio lógico. Escolhemos um recorte para ilustrar a introdução da aula e as interações registradas.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
08	Professor: Nem naquela outra experiência que a gente usou só um laser e um tecido como rede de difração?	Refina a pergunta especificando a experiência	Vocês enxergaram essa figura de interferência na experiência com o laser e o tecido?	Pergunta sobre dados	
09	Lúcia: Sim... Eu.				
10	Professor: Que a gente projetou lá na parede ou no quadro? (03:55)				
11	Breton: Era assim, desse jeito				Organização de Informações
12	Professor: Era assim que tava? Ah, tirei. Não, é que eu ia apresentar pra vocês tinha uma outra imagem. Fala, Breton.				
13	Breton: Era tipo... Um monte. Um monte não, não sei...				Organização de Informações
14	Professor: Uma do lado da outra, não é isso?	Não é uma pergunta considerada por nós na medida em que o professor complementa a fala do aluno			
15	Breton: É.				

Tabela 20: recorte entre os turnos 8 a 15 do primeiro momento da aula 10.

No turno 8, após ter perguntado se os alunos haviam observado uma figura de interferência no IMZ real, o professor insiste e lança uma **pergunta sobre os dados** disponíveis na apresentação (imagem 2): “Vocês enxergaram essa figura de interferência na experiência com o laser e o tecido?” (T 9). O professor está retomando informações, conceitos e relações importantes para a discussão que ele pretende estabelecer com a sala. Em resposta, o aluno Breton confirma a semelhança da figura projetada com o observado na experiência: “era assim, desse jeito.” (T 11). O professor confirma a intervenção de Breton (T12), este tenta esclarecer o que disse antes (T 13) e o professor o ajuda a organizar sua fala: “uma do lado da outra, não é isso?” (T 14) e ele responde “É.” (T 15). Nesse trecho, a **pergunta sobre dados** lançada para lembrar o experimento

e o padrão de interferência visualizado faz com que o aluno apresente indicadores de **organização de informações**.

Até o final desse momento da aula, o professor busca lembrar os alunos dos dados observados durante as experiências realizadas ao longo da SEI. Lembrando, para cada passo, que tipo de figura ou mudança na obstrução da luz era observado. Os alunos vão organizando as informações da mesma forma que o recorte mostra. Após essas lembranças, o professor passa a explorar a experiência realizada considerando a interferência da luz contínua e de fótons individuais.

Momento 2: Exploração do fenômeno de interferência para o fótons individuais da experiência observada comparando as figuras formadas

O segundo momento da aula começa no turno 32, com o professor explicando e relembrando o que é a interferência, e vai até o turno 68, quando o professor passa a focar no problema da explicação do padrão de interferência para um fóton individual. Aqui, por meio de perguntas sobre dados, o professor vai lembrando os alunos do que acontecia quando interviam de alguma forma no experimento as figuras observadas na experiência tanto para a luz quanto para fótons individuais.

Ao todo, aparecem quatro perguntas do professor de acordo com a nossa categoria, sendo três sobre dados e uma exploratória sobre o processo. Os indicadores de alfabetização científica apresentados totalizam 16: a maior ocorrência é de indicadores de explicação (5) e, em seguida, vêm os de justificativa (4), de organização de informações (3), de raciocínio lógico (2), de classificação de informações (1) e de levantamento de hipóteses (1).

Separamos dois recortes para ilustrar as interações neste momento da aula. O primeiro, do turno 40 ao 53, mostra como os alunos e o professor estão relembrando o experimento e comparando resultados, e o segundo (do turno 59 ao 68) ilustra a comparação das figuras observadas para o fóton individual.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
---	-------------------	-----------	--------------------------	---------------	-------------------

040	Professor: É o mesmo, não é? O que ta acontecendo só é que a gente aqui vai... Quando a gente manda com o laser forma imagem instantaneamente, não é isso? Todo o fóton... Ele vai se distribuindo, né? E dependendo da quantidade que a gente tem aí a gente vai acabar observando a linha, certo? Até aqui nenhuma novidade, né? Tudo bem aí, Guilherme? Explica essas duas figuras aí pra mim, por favor. Fala aí, Willian.	O professor relembra o experimento e chama a atenção dos alunos por falarem.			
041	Willian: O canto de lá é...				Organização de informações
042	Professor: O canto de lá você diz a direita de quem ta olhando?				
043	Willian: Isso... Não, a esquerda de quem ta olhando.				
044	Alunos: Inaudível				
045	Professor: Vamos chamar esse de 1 e esse de 2.				
046	Willian: Ta. O 2 é de fóton e o de cá onda				explicação
047	Professor: O que eles têm de semelhante?	Compara as duas figuras de interferência com luz e fótons	Qual a semelhança entre os dois resultados (imagens)?	Pergunta sobre dados	
048	Willian: O desenho...				Organização de informações
050	Willian: é como se forma.				Organização de informações
051	Professor: É o que?				
052	Gilberto: Gradativamente, professor, conforme os fótons vão chegando. (11:25)				Explicação / raciocínio lógico
053	Professor: dessa maneira [aponta para uma das imagens], a formação, ela é instantânea, né? E nessa aqui [aponta a outra imagem] ele vai se formando conforme vai acontecendo a chegada das partículas.				

Tabela 21: recorte entre os turnos 40 a 53 do primeiro momento da aula 10.

No turno 40, o professor está falando do fóton e dos caminhos que ele pode tomar. Então, ao chamar a atenção de Guilherme, ele solicita que o aluno explique as figuras representadas na lousa. Nesse momento, o aluno Willian começa a esboçar uma **explicação**. Há uma confusão sobre a qual imagem Willian está se referindo. Até que, no turno 49, diante da tentativa de Willian de relacionar as imagens, o professor pergunta o que as imagens terão de diferente – uma pergunta sobre dados, levando em consideração a presença das imagens. Willian, diante da pergunta, organiza a informação primeiramente no turno 50: “*É como se forma*”. O professor, buscando entender melhor o raciocínio de Willian, expressa dúvida e o aluno elabora uma explicação: “*Gradativamente, professor, conforme os fótons vão chegando*” (T 52). O professor valida a explicação de Willian sobre a maneira que a imagem de interferência é formada na interferência da luz. Observa-se instantaneamente o fenômeno, e com fótons individuais eles apresentarão o padrão de interferência depois de um tempo, quando muitos fótons tiverem chegado ao anteparo.

Imediatamente após essa passagem, na qual se discute a formação do padrão de interferência para fótons disparados um a um, o professor passa para outros dois desenhos: um com a figura de interferência do interferômetro e outra sem interferência.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
059	Professor: Qual a relação? Por que forma essa figura aqui e não aqui?	Explora a comparação entre a figura com e sem interferência.	Por que na montagem observamos esta figura e não esta?	Pergunta exploratória sobre o processo	
060	Alice: Porque na primeira tem interferência.				Justificativa/ Explicação
061	Gilberto: Professor!				
062	(12:28) alunos: [inaudível]				
063	Professor: Fala, Gilberto!				
064	Gilberto: Então, nos primeiros círculos as duas se encontram, os dois raios estão juntos				Explicação
065	Professor: Pessoal!				
066	Gilberto: Enquanto que na outra figura como tem um detector ele impede a passagem de um dos caminhos de chegar no anteparo, então só tem um caminho que o fóton pode passar. Por isso, ele não forma a figura.				Explicação/ Justificativa Rac. lógico
067	Professor: Tá. Então, nesse caso, não tem interferência e aqui a gente tem interferência, não é isso? Bom, agora o seguinte, o que a gente veio conversando ao longo do ano inteirinho é que a física pode explicar as coisas de duas maneiras, ou como onda ou como partícula.				
068	Alice: A luz.				

Tabela 22: recorte entre os turnos 59 a 68 do primeiro momento da aula 10.

Da mesma maneira que o recorte anterior, aqui, dentro do segundo momento da aula, fala-se sobre a interferência para um único fóton, elucidando as condições, a maneira de formação da imagem e o observado no laboratório de informática. Entretanto, a pergunta do turno 59 – “*Por que na montagem observamos esta figura e não esta?*” – faz com que se tente estabelecer uma diferença conceitual entre as causas para os fenômenos representados nas duas figuras. Essa **pergunta exploratória sobre o processo** não apresenta uma resposta evidente, e faz com que os alunos tenham que relacionar fatos, ideias e conceitos já estabelecidos com os dados (imagens) disponíveis.

Diante disso, Alice, no turno 60, **explica** como se forma a figura, **justificando** sua ideia pelo fato de se tratar de dois fenômenos diferentes: “*Porque na primeira tem interferência*”. Em seguida, Gilberto então oferece uma explicação para a interferência de ondas, no turno 64: “*Então, nos primeiros círculos as duas se encontram, os dois raios estão juntos*”. O padrão apresenta a interferência destrutiva quando as ondas estão em fases diferentes e construtivas quando estão na mesma fase. O que Gilberto trouxe para

a aula foi dizer, em outras palavras, que no centro da figura há interferência construtiva. Em seguida, Gilberto oferece uma explicação detalhada sobre o porquê de não se ter observado a figura de interferência quando se colocava o detector. No turno 66, ele diz: *“Enquanto que na outra figura como tem um detector ele impede a passagem de um dos caminhos de chegar no anteparo, então só tem um caminho que o fóton pode passar. Por isso, ele não forma a figura”*. Nessa explicação do aluno, é possível identificar o indicador de **raciocínio lógico**. Sua fala expressa uma articulação que relaciona as situações e o fato de só haver um caminho para o fóton passar, portanto, considerando que o caráter de interferência da luz depende de duas frentes de onda, não é possível haver o padrão de interferência.

No recorte em questão, a **pergunta exploratória sobre o processo** abordou o porquê de haver ou não o padrão de interferência e levou os alunos a elaborarem **justificativas e explicações**.

Posta a condição experimental para haver ou não interferência no experimento, um novo momento da aula explorará os motivos para a interferência de um fóton único. Embora os alunos saibam, do próprio manuseio do IMZ, que a presença de um detector elimina o padrão de interferência, não sabem ainda como ele se forma se os fótons são lançados individualmente.

Momento 3: O problema da explicação para a interferência para um único fóton no interferômetro

O terceiro momento da aula vai do turno 69 até o turno 98. No turno 67, o professor havia concluído que a figura com franjas tinha interferência e que a outra figura, sem franjas, não tinha. Após isso, o professor introduz este novo momento da aula quando diz: *“O que a gente veio conversando ao longo do ano inteirinho é que a Física pode explicar as coisas de duas maneiras, ou como onda ou como partícula”*. Neste caso, o problema da interpretação da interferência para fótons únicos será visto conforme esses dois modelos.

No total, são cinco perguntas do professor, sendo três de problematização e duas exploratórias sobre o processo. Por parte dos alunos, observamos oito indicadores de AC: quatro levantamentos de hipóteses, duas explicações, uma previsão e uma justificativa.

O recorte que selecionamos para ilustrar este momento compreende os turnos 75 ao 84

e, nele, o professor discute a hipótese da natureza da luz que se divide em duas partes para causar interferência.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
075	Professor: Mas duas partes do que? De partícula? Duas partes de onda? Uma parte partícula outra parte onda?	Para hipótese do fóton se dividir em duas partes o professor explora quais seriam as partes desta divisão.	Se o fóton se dividiu em duas partes, o que compõe essas duas partes? Partícula? Onda? As duas coisas?	Pergunta de problematização	
076	Alice: Acho que as duas partes partícula.				Levantamento de hipótese
077	Professor: Mas aí se ele se dividir ao meio, eu deixo de ter um fóton e tenho dois. Dois meio fótons...				
078	Alice: Aí depois eles se juntam.				justificativa
079	Professor: Junta aqui embaixo de novo?	Professor testa a hipótese da aluna.	Após se dividir os fótons se juntam novamente?	Exploratória de processos	
080	Alice: É, os dois lados.				explicação
081	Professor: mas como é que com eles juntos eu posso ter no anteparo dos dois lados? Aqui... Olha, a Clara tá dizendo o seguinte, aqui ele se divide, certo? Aí vem pra cá e vem pra cá. Quando chega aqui, se eles se juntam, como a Clara tá falando, eu teria que ter observação em um único anteparo, mas eu consigo medir nos dois ao mesmo tempo.	Motiva uma hipótese para a explicação do fóton se dividir e ser medido nos dois anteparos	Se as duas metades do fóton se juntam como eu posso ver nos dois anteparos?	Pergunta de problematização	
082	Márcia: (16:15) Eu estava pensando que ali no meio eles se dividem de novo...				Levantamento de hipótese
083	Professor: Meninos, por favor!				
084	Márcia: Vai passar uma parte ali e a outra vai por ali, ó [aponta a figura]				Levantamento de hipótese

Tabela 23: recorte entre os turnos 75 a 84 do terceiro momento da aula 10.

Nesse recorte, o professor aproveita a hipótese levantada por Alice diante do problema e pergunta, no turno 75: “O que compõem essas partes?”. A **pergunta de problematização** busca explorar a hipótese de Alice. Ela, ainda em suas **hipóteses**, no turno 76, diz que se dividiria em duas partes da mesma partícula. O professor faz um comentário, no turno 77, para testar a hipótese de Alice dizendo que se o fóton se dividir em dois deixará de ser um fóton – serão dois “meios fótons”. Vale lembrar que não foi explicitado, nesse caso, que o fóton é uma partícula indivisível, por isso, o professor não recorre a tal definição, embora sua intervenção para testar a hipótese contenha essa premissa ao dizer que se dividir deixará de ser um inteiro, sendo dois meios.

Levando a hipótese de Alice adiante, o professor pergunta para toda a turma como seria essa divisão e a “reconciliação” do fóton no anteparo do experimento (T 81). Novamente, temos aqui uma **pergunta de problematização** e, nela, embutida a

perspectiva e uma resposta com alguma hipótese de previsão. Isso fica evidente quando a aluna Márcia traz uma contribuição nos turnos 82 e 84: *“Eu estava pensando que ali [semiespelho] no meio eles se dividem de novo” (T 82). “Vai passar uma parte ali e a outra vai por ali, ó [aponta a figura]” (T 84).*

A problematização central proposta aqui envolve os procedimentos experimentais realizados pelos alunos com o interferômetro de Mach-Zehnder e o fato de que mesmo um fóton lançado por vez apresenta o padrão de interferência. Isso é um problema, pois a interferência explicada sob o ponto de vista ondulatório requer frentes de ondas simultâneas interagindo entre si para causar aquele padrão. Isso conflita com as condições ondulatórias para se ter interferências (frentes de onda interagindo), e a hipótese mais comum é a de que o fóton interfira com ele mesmo. Diante desse problema, as hipóteses são trazidas e o professor explica como seria a interferência considerando a hipótese de divisão do fóton em partes.

Após essa etapa e entendendo o problema da interferência para um único fóton, o professor recorre ao slide do PowerPoint para apresentar as quatro linhas interpretativas sobre a natureza da luz para a mecânica quântica (ondulatória, corpuscular, dualista-realista e da complementaridade). Ele anuncia que existem quatro interpretações para explicar a luz e os fenômenos relativos a ela, e a aula entra em um novo momento, para entender cada uma dessas linhas.

Momento 4: As quatro interpretações da mecânica quântica para a natureza da luz

O quarto momento da aula se estende do turno 99 até o turno 173. O professor faz 10 perguntas a serem analisadas neste momento da aula. São oito exploratórias sobre o processo e duas sobre dados. Os alunos, por sua vez, apresentam 29 indicadores de AC, sendo, em ordem de maior ocorrência, oito explicações, sete justificativas, sete levantamento de hipóteses, quatro construções com raciocínio lógico e três classificações de informações.

Neste momento da aula, que ocupa a maior parte dela, o professor investiga, junto com os alunos, as quatro interpretações, construindo o significado para cada uma. Esse processo se dá, principalmente, por meio de perguntas em que se coloca o que aquela interpretação vai dizer sobre a luz. Tal exploração de ideias só é possível por conta do percurso que os alunos fizeram ao longo da SEI. Há mais discussão quando o professor

explora as interpretações dualista-realista e da complementaridade, já que nas interpretações ondulatória e corpuscular os alunos já respondem prontamente que a luz é, para essas interpretações, onda e partícula, respectivamente.

Os recortes escolhidos para analisarmos aqui retratam bem o caráter da interação neste momento da aula em que o professor preponderantemente solicita aos alunos uma possível explicação sobre o que cada uma dessas interpretações dirá acerca da natureza da luz. A partir do turno 109, o professor discutirá com os alunos a interpretação dualista-realista. Na lista passada aos alunos, a complementaridade era a próxima a ser discutida. O professor então decide pular essa interpretação (talvez pelo fato de ela ser a mais aceita na comunidade científica) e perguntar sobre a dualista-realista

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Pergunta do professor	INDICADORES DE AC
109	Professor: São fótons. Fóton é uma partícula de luz. Existe uma interpretação... Vou pular pra ultima... Dualista.	Embora não haja interrogação, esta é uma pergunta implícita pela ação anterior do professor em perguntar o que pode ser cada interpretação. Busca dos alunos o que a interpretação ondulatória.	A interpretação da luz chamada dualista diz que a luz é...?	Pergunta exploratória de processo.	
110	Márcia: Ora como onda e como partícula.				Levantamento de hipóteses
111	Alice: Onda e partícula.				Levantamento de hipóteses
112	Gilberto: É onda e partícula?				Levantamento de hipóteses
113	Professor: Que ela pode ser as duas coisas ao mesmo tempo? É uma partícula que é associada com uma onda ou uma onda com uma partícula...				
114	Alunos: Inaudível.				
115	Nicolau: 19:29 Você falou que não tem como, que não pode ser onda e partícula ao mesmo tempo				Justificativa/refutação
116	Professor: Então, aí cai nessa situação que o Nicolau ta falando, né?				
117	Alice: ela é uma coisa e outra.				explicação
118	Professor: É... Pra mecânica clássica isso não é possível.				
119	Alice: Mas e em Quântica...				justificativa
120	Nicolau: Acho que é				

Tabela 24: recorte entre os turnos 109 a 120 do quarto momento da aula 10.

A pergunta do professor que inicia esse recorte – “A interpretação da luz chamada dualista diz que a luz é...?” (T 109) – é uma **pergunta exploratória de processo** na medida em que os alunos não sabem o que a luz é para a interpretação em questão, mas têm elementos das discussões e do nome da interpretação (dualista-realista) para

elaborar hipóteses ou explicá-la. Então surgem algumas **hipóteses**: no turno 110, a aluna Márcia diz “*Ora como onda, ora como partícula*”; no turno 111, a Alice diz “*Onda e partícula*” e Gilberto reforça com “*É, onda e partícula*”. O professor então refina a hipótese de Gilberto e Alice dizendo (T 113) que a luz pode ser uma onda associada a uma partícula ou uma partícula associada a uma onda. Imediatamente, Nicolau (T 115) refuta a fala do professor justificando que, em aulas anteriores, o professor ter dito que não era possível ter onda e partícula ao mesmo tempo. O professor então explica (T 117) que, na mecânica clássica, não era possível, mas na Física moderna novas explicações têm que ser encontradas e uma delas pode ser a luz como as duas coisas ao mesmo tempo.

Após a confirmação de que a hipótese de Alice e Gilberto era procedente para a natureza da luz, o professor passa para a última interpretação, a da complementaridade. Neste outro recorte temos um percurso discursivo parecido.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Pergunta do professor	INDICADORES DE AC
123	Professor: E complementaridade?	Busca dos alunos o que a interpretação da complementaridade	A interpretação da luz chamada complementaridade, deve dizer que a luz é o quê?	Pergunta exploratória de processo.	
124	Nicolau: As duas se complementam				Levantamento de hipóteses
125	Márcia: uma completa a outra				Levantamento de hipóteses
126	Professor: Então, segundo a Alice...				
127	Nicolau: inaudível				
128	Márcia: Nicolau, para!				
129	Professor: Não, mas essa ideia que o Nicolau ta falando tem mais a ver com a dualista, né? Num é?				
130	Nicolau: É...				
131	Gilberto: Professor, e se eu disser que a luz é partícula...	Começa a construir a hipótese do turno 133			
132	Professor: Silêncio, eu não estou ouvindo o Gilberto que tá quase do meu lado. Fala, Gilberto.				
133	Gilberto: E se eu falar que a luz é partícula com fatores ondulatórios ou é onda com fator de partícula?			Pergunta de problematização	Elaboração de hipóteses / explicação
134	Professor: Aí nesse caso, você acha que vai tá dentro de qual dessas interpretações?	Faz o aluno situar sua descrição dentro de uma das interpretações da mecânica quântica	Qual interpretação contempla o fato da luz ser uma onda com aspectos de partícula ou partícula com fatores ondulatórios?	Pergunta exploratória de processo	
135	Gilberto: Então, mas assim, no meu raciocínio ela segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro.				Justificativa / rac. lógico
136	Professor: Dá pra encaixar, não dá? Dentro de uma dessas interpretações. Fala aí, Cristina.				

Tabela 25: recorte entre os turnos 123 a 136 do quarto momento da aula 10.

Como no caso anterior, da interpretação dualista-realista, neste caso, ao fazer a **pergunta exploratória sobre o processo** “A interpretação da luz chamada complementaridade, deve dizer que a luz é o quê?” (T 123), o professor busca articular os conhecimentos dos alunos e o nome da interpretação para que ele apresentem **hipóteses** para o que possa ser a interpretação da complementaridade. No turno 124, Nicolau diz “as duas se complementam” e no turno 125 “uma complementa a outra”. Essas hipóteses estão mais relacionadas à interpretação dualista-realista, pois, para ela, a luz é uma partícula que carrega junto uma onda, ou seja, são as duas coisas ao mesmo tempo. E a interpretação da complementaridade expressa que dependendo da forma que se mede ou se observa a luz, ela poderá se comportar ora como partícula, ora como onda, não podendo ser as duas ao mesmo tempo.

O professor então associa a hipótese de Nicolau e Márcia à interpretação dualista-realista (T 129). Logo em seguida, no turno, 133, Gilberto lança uma nova **hipótese**: “E se eu falar que a luz é partícula com fatores ondulatórios ou é onda com fator de partícula?”. Essa pergunta poderia ser feita pelo professor, e se ele a fizesse, ela seria classificada como uma pergunta de problematização. O professor então devolve a pergunta: “Aí nesse caso, você acha que vai tá dentro de qual dessas interpretações?” (T 134). E Gilberto tenta justificar, no turno 135, dizendo que uma complementa a outra.

O momento de discussão sobre a complementaridade continua com a hipótese de Eduardo de que a complementaridade poderia ser um estado microscópico e um estado macroscópico da luz. Até que, no turno 150, a aluna Márcia argumenta contra Eduardo e expõe uma explicação “Porque aí ela tá sendo duas coisas ao mesmo tempo. Complementaridade é quando ela tá sendo ora uma coisa ora outra”. Essa discussão se estende até o turno 173 sem uma definição ou validação do professor. No lugar disso, ele já muda o foco da discussão da possível explicação dessas linhas interpretativas para o fenômeno da interferência de um fóton único, o que significa um novo momento da aula.

Momento 5: As explicações das quatro interpretações para o padrão de interferência para apenas um único fóton

O quinto momento da aula vai do turno 174 até o 217. São oito perguntas que o

professor faz, sendo sete exploratórias sobre o processo e uma de problematização. Oito também é o número de indicadores de alfabetização científica dos alunos: quatro explicações, uma classificação de informações, uma organização de informações, uma justificativa com raciocínio lógico.

Nesse momento da aula, o professor explora as quatro interpretações do comportamento da luz junto com os alunos para ver como cada uma delas pode explicar a interferência de um fóton. A pergunta “*Como eu explico a interferência pela interpretação...*?” é feita e refeita aos alunos para que eles discutam e relacionem o entendimento de cada interpretação a uma aplicação dos seus conhecimentos para explicar o no fenômeno do interferômetro.

Como o tipo de pergunta se repete para cada interpretação (para saber como ela explica o fenômeno da interferência), um recorte apenas pode ilustrar que tipo de interação predomina nesse momento da aula.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
183	Professor: Ainda bem que tem um amplificador. Ta. É assim que todo mundo acha? Eu consigo explicar a interferência como sendo duas ondas... Fase igual constrói, fases diferentes elas se anulam, é isso? Alguém tem outra ideia pra explicar isso?	Refaz a pergunta mas buscando ter outras hipóteses	Há alguma outra forma de explicar a interferência pela interpretação ondulatória?	Pergunta exploratória de processo	
184	(25:45) [inaudível]				
185	Márcia: É... Pra ter interferência tem que ter duas ondas. Quando elas tão na mesma fase, você vai ter a interferência construtiva que vai aumentar. Agora quando ta tendo... De um lado você tá tendo a voltinha assim e do outro ao contrário vai ser destrutiva, então vai diminuir. Se forem iguais os valores vai acabar com a onda. Isso, se forem ondas, agora se for complementar, aí eu não sei explicar. (26:25)				Explicação/ previsão/ rac. lógico
186	Professor: E como partícula? Como é que a gente explica isso? Alguém que não falou ainda... Luis, Priscila, Teresa, John... Como é que eu explico essa interferência se for partícula?	Para a figura de interferência busca uma explicação para a interpretação corpuscular	Como explicar a interferência pela interpretação Corpuscular?	Pergunta exploratória de processo	
187	Luis: parte é onda e parte é partícula...				explicação
188	Alunos: mas isso é ondulatória [Inaudível].				Justificativa / refutação
189	Professor: Calma, deixa o rapaz pensar.				

Tabela 26: recorte entre os turnos 183 a 189 do quinto momento da aula 10.

Conforme dissemos acima, as perguntas do professor no momento em questão buscam articular o entendimento recente das interpretações da mecânica quântica com o fenômeno da interferência, já trabalhado com os alunos ao longo da SEI. Esta é uma

característica marcante das **perguntas exploratórias sobre processo**: articulação entre ideias e dados.

Nesse recorte, o professor pergunta, no turno 183, se há uma forma de explicar a interferência pela interpretação ondulatória da luz. A explicação correta considera a luz como uma onda e as frentes de onda se interferirão, formando padrões destrutivos e construtivos. Em resposta à pergunta do professor, no turno 185, a aluna Márcia desenvolve uma **explicação**: “É... *Pra ter interferência tem que ter duas ondas. Quando elas tão na mesma fase, você vai ter a interferência construtiva que vai aumentar. Agora quando tá tendo... De um lado você tá tendo a voltinha assim e do outro ao contrário vai ser destrutiva, então vai diminuir. Se forem iguais os valores vai acabar com a onda. Isso, se forem ondas, agora se for complementar, aí eu não sei explicar*”. O professor passa para a próxima interpretação, considerando a **explicação** da aluna satisfatória. No mesmo turno 186, em que ele valida a explicação de Márcia, o professor já pergunta, aproveitando a linha de raciocínio traçada pela aluna, qual a explicação para a interpretação corpuscular.

Com as interpretações dualista-realista e da complementaridade, o professor também faz as mesmas perguntas para buscar a explicação da interferência para um único fóton, mas propositadamente não conclui nada sobre a explicação, pois essa será a tarefa individual de cada aluno após a discussão.

No entanto, a estrutura dessa discussão do quinto momento de aula segue a mesma: o professor perguntando como se pode explicar, os alunos elaborando hipóteses, buscando uma explicação e o professor fazendo falas de conclusão e sistematização. Por fim, no turno 217, o professor retorna às quatro interpretações descritas na folha de resumo e passa para um novo momento: o de ler e sistematizar o que trata cada uma.

Momento 6: sistematização as explicações das quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton e introdução da atividade

O sexto momento vai do turno 218 até o 292. O professor faz sete perguntas: quatro de sistematização e três exploratórias sobre o processo. Os alunos apresentam 25 indicadores de AC: 14 levantamento de hipóteses, seis explicações, três justificativas, uma organização de informações e uma classificação de informações.

Nesse momento da aula, o apoio do texto e a ação do professor caminham juntos para sistematizar as quatro interpretações para o comportamento da luz. O texto da

atividade traz quatro frases, as quais os alunos têm relacionar a cada interpretação. O professor busca, antes que os alunos resolvam a atividade, sistematizar as interpretações por meio de perguntas de sistematização do tipo: “Qual interpretação fala que a luz é...?”.

O trecho recortado a seguir pode oferecer uma visão de como as discussões estão sendo desenvolvidas no momento em questão.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
277	Professor: É... Qual delas fala sobre, né? Onda e partícula juntas?	Localizando a interpretação com a questão	Qual interpretação fala que a luz tem duas partes?	Pergunta de sistematização.	
278	Lúcia: Dualista.				Explicação
279	Professor: É, que ele fala que tem então uma partícula surfando numa onda. Qual que fala sobre isso?	Refaz a pergunta.	Qual interpretação fala que a luz tem duas partes?	Pergunta de sistematização.	
280	Alunos: Inaudível.				
281	Professor: Como é que é? A dois?				
282	Luis: A dois é complementaridade.				Explicação
283	41:41 Alunos: A três é ondulatória e a um é dualidade				Explicação
284	Professor: É isso? É isso, povo? Vamos conferir? “Nunca um meio fóton foi detectado”, ta certo? Pensando na gente dividir a onda em duas partes, ta certo? Na teoria corpuscular a gente não consegue explicar então a gente precisa de uma lógica nova, não é isso? Pensando como sendo partícula, que ela é invisível esse tipo de coisa, então eu preciso de uma nova lógica pra explicar a partícula, pra explicar essa interferência, ta? Pra um único fóton a gente não conseguiu dar explicação. Onda vazia caminhando, né? Numa partícula... A partícula caminhando nessa onda é dualista realista. E esse aqui é complementar por quê? Porque eu só vou ter informação da natureza da luz depois de medir. Quando eu to vendo a luz eu não sei se ela é onda ou se ela é partícula. Se eu observo interferência eu to me referindo a quê?	Situar as explicações/fenômenos dentro da interpretação da complementaridade	Para a complementaridade, quando observamos um fenômeno de interferência a luz será tratada como o que?	Pergunta de sistematização	
285	Alice: Onda.				explicação
286	Professor: À onda. Se eu observo efeito fotoelétrico?	Situar as explicações/fenômenos dentro da interpretação da complementaridade	Para a complementaridade, quando observamos o efeito fotoelétrico a luz será tratada como o que?	Pergunta de sistematização	
287	Alice: Partícula.				explicação

Tabela 27: recorte entre os turnos 277 a 287 do sexto momento da aula 10.

Com base no texto, as perguntas de sistematização têm o caráter de melhorar o entendimento e aperfeiçoar a explicação para cada uma das interpretações sobre o comportamento da luz. No turno 277, o professor pergunta “Qual interpretação fala que a luz tem duas partes?” e essa é uma **pergunta de sistematização**, para que os alunos localizem entre as linhas interpretativas que acabaram de discutir qual explica a natureza

da luz daquela forma. No turno seguinte, a aluna Lúcia já responde com uma **explicação**: “*dualista*”. O professor então passa para a próxima pergunta de sistematização: “*qual interpretação fala que a luz tem duas partes?*” (T 279). A partir daí, os alunos começam a falar alto associando as interpretações às perguntas: o aluno Luis diz “A dois é complementaridade” (T 282). Essa resposta com indicadores de explicação será corrente nesta etapa de sistematização. O professor explica brevemente que eles terão que realizar uma atividade associando e explicando como cada interpretação descreve o comportamento a luz no interferômetro de Mach-Zenhder.

Após esses momentos, os alunos passam a resolver os exercícios e fazer perguntas burocráticas ao professor sobre notas, etc até o fim da aula.

5.2.1 Observações gerais acerca da aula 10

A aula 10 finaliza a SEI e congrega diversos elementos de sistematização e de exploração do processo investigativo. No primeiro momento da aula, o professor retoma grande parte dos conceitos e experiências abordados anteriormente. Há um grande número de **perguntas sobre dados**, na medida em que o professor deseja que eles lembrem as observações e as formas vistas durante o experimento realizado. Em correlação, observamos indicadores de **organização de informações** por parte dos alunos, nos quais eles vão lembrando e discutindo as figuras apresentas e obtidas nos experimentos.

Observamos, majoritariamente, nesse momento da aula, perguntas **exploratórias sobre o processo**, nas quais os alunos precisam articular o conhecimento e as informações obtidas até aquele momento da SEI para buscar uma resposta, seja para o levantamento de hipóteses sobre o que determinada interpretação diz sobre a natureza da luz, seja sobre como aquela interpretação explica a interferência para um único fóton. A grande maioria dos indicadores de AC observados foi de **levantamento de hipótese** – um retrato da busca de resposta nas articulações entre os dados, as informações e as ideias.

Por fim, ao término da sequência, foram observadas algumas **perguntas de sistematização** para internalizar o que cada interpretação diz sobre o comportamento da luz. Para as perguntas de sistematização, observamos somente indicadores de alfabetização científica de **explicação**.

6. Síntese interpretativa das análises

Ao longo das duas aulas analisadas com o foco nas perguntas feitas pelo professor e nos indicadores de alfabetização científica expressos pelos alunos, verificamos um número grande de perguntas associadas a indicadores nos diferentes momentos das aulas. São pares de perguntas-indicadores que devem ser analisados mais profundamente. Nosso intuito, explicitado pelas perguntas de pesquisa, é identificar os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula investigativa de Física e também verificar como essas perguntas podem ajudar os alunos a desenvolver aspectos da alfabetização científica.

Para tanto, desenvolvemos, *a priori*, uma categoria de perguntas do professor baseada em nossos pressupostos teóricos. Os tipos de perguntas são: perguntas de problematização, perguntas sobre dados, perguntas exploratórias de processo e perguntas de sistematização. Nas duas aulas analisadas, as perguntas aparecem da seguinte maneira, de acordo com os momentos de cada uma.

Gráfico 1- As perguntas do professor nos momentos das aulas - número absoluto

Os índices no eixo das abscissas são os momentos das aulas. A2-M1 deve ser lido como “aula 2 momento 1”, e assim por diante. Na aula 2, início da SEI, há uma grande concentração de **perguntas de sistematização** e **perguntas sobre dados**. Na aula 10, última aula da SEI, observamos um grande número de **perguntas exploratória sobre o processo**, exatamente por se tratar de discussões que envolviam a articulação das ideias em torno dos conceitos novos, das observações e do experimento. Esta visão ampla do conjunto dos momentos, entretanto, pode não oferecer uma ideia mais precisa sobre as perguntas do professor e os indicadores de alfabetização científica dos alunos, na medida em que as perguntas do professor estão muito atreladas aos momentos da aula em que são postas e às intenções do professor naqueles momentos. Uma disposição percentual nos oferece novas possibilidades.

Gráfico 2: As perguntas do professor nos momentos das aulas - percentuais

Esse gráfico também nos faz perceber uma maior ocorrência percentual das **perguntas de sistematização** no início da sequência e de **perguntas exploratórias sobre o processo** na aula 10. Dentro de cada momento é que podemos verificar a importância da ação do professor na SEI quanto à realização de perguntas e também quanto às respostas dos alunos a essas perguntas.

Quando observamos atentamente as perguntas do professor e os indicadores de AC dos alunos, percebemos, ao longo dos momentos, que existem pares pergunta-indicador observados com maior frequência. Na apresentação das análises, mostramos quais são esses pares e em quais momentos eles ocorrem. Os quadros abaixo permitem resumir tais pares de acordo com os momentos de cada aula.

Aula 2		
M	Perguntas do professor	Indicadores de AC mais observados
1	Nada verificado	Nada verificado
2	Sistematização	Explicação e justificativa
	Sistematização	Explicação
3	Problematização	Levantamento de hipótese
	Exploratórias do processo	levantamento de hipótese/ previsões
	Sobre dados	Organização de informações
	Sistematização	Explicação

4	Problematização	Levantamento de hipótese
----------	-----------------	--------------------------

Tabela 27: pares perguntas/Indicadores mais frequentes nos momentos da aula 2.

Aula 10		
M	Perguntas do professor	Indicadores de AC mais observados
1	Sobre dados	Organização de informações
2	Sobre dados	Organização de informações
	Exploratórias do processo	Explicação e justificativa
3	Problematização	Levantamento de hipótese
	Exploratórias do processo	Explicação e justificativa
	Exploratórias do processo	Levantamento de hipótese/justificativa
4	Exploratórias do processo	Levantamento de hipótese/ justificativa
5	Exploratórias do processo	Explicação e justificativa
6	Sistematização	Explicação e justificativa
7	Nada verificado	Nada verificado

Tabela 28: pares perguntas/Indicadores mais frequentes nos momentos da aula 10.

Podemos perceber por essa tabela que, em diferentes momentos das aulas, podem aparecer perguntas do professor que provocam ou solicitam indicadores de alfabetização científica dos alunos. Essa relação causal pode ser interpretada com base em nosso referencial teórico. Uma pergunta contém em sua enunciação uma intenção que ocasionará alguns tipos de indicadores de AC nos alunos, como será explicitado no item seguinte do capítulo.

6.2 As perguntas de problematização e os indicadores associados

As perguntas de problematização foram verificadas em uma associação direta com indicadores de levantamento de hipóteses. Exemplos claros dessa relação foram demonstrados nos momentos destacados a seguir,

No terceiro momento da aula 2, o professor, após resumir a atividade e retomar conceitos, recoloca a pergunta que será levada adiante na investigação: *“Final, a luz é o*

quê?” (T 62). Essa pergunta de problematização expõe o problema de investigação e, conforme vimos, um problema consiste de situações difíceis, para as quais não existem soluções fechadas. Trata-se de uma situação, quantitativa ou não, que pede aos sujeitos envolvidos uma solução não evidente (GIL-PÉREZ *et.al*, 1992). Nessa perspectiva, uma pergunta de problematização oferece uma abertura às hipóteses para solucionar o problema. É o que verificamos na maioria das vezes em que uma pergunta de problematização é colocada.

Ainda na aula dois, ao término da aula, onde o problema de investigação é mais enfatizado, o professor pergunta “A luz pode ser o quê?” (T 172). Trata-se de uma pergunta de problematização caracterizando a dificuldade dos modelos clássicos em explicar a luz em todas as suas manifestações. Essa pergunta explicita o problema a ser investigado ao longo da sequência, e o reforça após todos os exemplos em que os modelos sobre a luz explicam cada qual um fenômeno. Em resposta a esse problema, o aluno Eduardo levanta uma hipótese “*Onda com propriedades de partícula ou partícula com propriedades de onda.*” (T 173) e, logo em seguida. Eduardo levanta mais uma hipótese sobre o comportamento da luz: “*Uma bolinha vibrando*” (T 175). Após essas manifestações, o professor entrega um resumo das explicações para que os alunos possam discutir.

Na aula 10, dentro do terceiro momento, outra pergunta de problematização (“*Como eu explico o fenômeno da interferência para um único fóton?*”) também ocasiona indicadores de levantamento de hipóteses: “*O fóton se divide em dois*”. Todos estão discutindo as explicações dos fenômenos observados no IMZ sob a perspectiva de um fóton lançado por vez. Trata-se de uma pergunta de problematização, pois a explicação para a interferência de um único fóton não foi oferecida, é um problema a ser resolvido e, diante disso, os alunos elaboram suas hipóteses.

O **levantamento de hipóteses** é uma etapa essencial para uma atividade de investigação, pois mobiliza os alunos a buscarem uma solução, criarem e imaginarem possibilidades que possam resolver o problema. Para a **pergunta de problematização** do professor, essa etapa é igualmente válida, no sentido em que a pergunta evidencia uma necessidade de buscar naquele momento – pela enunciação do professor – uma hipótese para resolver o problema.

6.3 As Perguntas sobre dados e os indicadores associados

Nas aulas analisadas, observamos uma associação direta entre as **perguntas sobre dados** do professor e indicadores de **organização de informações**.

Na aula 2, no momento em que o professor investiga algumas situações clássicas para discutir a natureza da luz e retoma o efeito fotoelétrico, ele faz perguntas sobre dados para relacionar grandezas verificadas no simulador de efeito fotoelétrico, estudado pelos alunos anteriormente. Conforme mostramos na análise, no turno 133 do momento 3 da aula 2, o professor pergunta: *“O que observamos na simulação quando aumentamos a intensidade da luz?”*. Essa é uma pergunta sobre dados, pois relaciona as variáveis de um fato observado. Em resposta, o aluno afirma *“Dependia da frequência da luz”*. Ou seja, o professor, por meio da pergunta de dados, estava buscando uma organização de informações para reforçar variáveis daquele fenômeno. E a resposta do aluno organiza as informações, ressaltando a variável relevante.

No primeiro e segundo momentos da aula 10, a mesma observação pode ser feita. O professor, fazendo o uso de imagens de interferência, pergunta à turma se eles observaram aquela imagem no experimento: *“Foi esta figura de interferência que observamos quando fizemos o experimento?”* (T 04). Associar a observação ao dado apresentado também é uma forma de organizar as informações e esclarecer o observado durante o experimento. Os alunos respondem que não observaram aquela figura, ou seja, descartam aquele dado do escopo a ser trabalhado. As perguntas sobre dados continuam na sequência daquele momento e, buscando esclarecer o que havia sido observado, os alunos vão organizando e classificando informações, de modo a considerar quais são os dados relevantes.

O tratamento com os dados tem uma função importantíssima dentro de uma investigação, pois é por meio do estudo e análise deles que a investigação ocorre. Ele é a ponte entre o fenômeno e sua possível lei, e traduz o observável em variáveis e proporções. Em uma atividade investigativa em que é possível desenvolver um problema específico, perguntas sobre os dados têm também o papel de chamar a atenção dos alunos para que eles possam perceber o que é ou não relevante na situação e de que forma aqueles dados se relacionam entre si. Essa percepção é o início de uma construção lógica buscada pela Física.

6.4 As Perguntas exploratórias sobre processo e os indicadores associados

As perguntas exploratórias apresentam algumas correlações importantes com os indicadores de alfabetização científica, principalmente com o de levantamento de hipóteses, o de justificativas e de explicações. Em sua essência, essa categoria envolve ideias dos estudantes, conceitos internalizados e evidências exteriores ou dados. É mais do que organizar informações, é organizar ideias. Os indicadores de **levantamento de hipóteses** nos remetem a à correlação das ideias e conceitos diante de um novo caso a ser respondido; já os indicadores de explicação e justificativa carregam a possibilidade de esta articulação levar o aluno a concluir ou explicar algo conforme suas concepções.

Quando o professor está investigando as situações clássicas para a luz, no terceiro momento da aula 2, ele pergunta, no turno 89: *“Para uma pequena distância o que acontece com os efeitos da gravidade em uma partícula com a velocidade de 300.000km/s?”*. Essa pergunta envolve uma hipótese, uma situação hipotética em que os estudantes terão que articular seus conhecimentos prévios e conceitos internalizados para resolver a situação. Nessa etapa, observamos indicadores de levantamento de hipóteses. No turno seguinte, o aluno responde “Na cabeça dela”, indicando que não se observará nenhuma queda da luz por conta da gravidade.

Na aula 10, quando a turma está discutindo as interpretações da mecânica quântica para a luz (momento 4), o tipo de pergunta característico que o professor faz é exploratória do processo. No turno 109, o professor pergunta aos alunos: *“A interpretação da luz chamada dualista diz que a luz é...?”*. Naquele momento da aula, sabemos que os alunos não tomaram conhecimento do que é a interpretação dualista-realista, por isso o intuito do professor é fazer com que eles articulem ideias e discutam o que pode ser essa interpretação. No turno seguinte, os alunos respondem: *“Ora como onda e como partícula.”* (T 110) e *“Onda e partícula.”* (T 112). Também observamos, nesse caso, indicadores de **levantamento de hipóteses**. No turno 143 da aula 10, quando a turma está discutindo sobre as interpretações, um aluno lança uma hipótese sobre a explicação da interpretação da complementaridade. Para ele, a luz poderia ser onda no “macro” e partícula no “micro”. Diante disso, o professor tenta explorar as ideias dele sobre a hipótese: *“A luz pode ser partícula no micro e onda no macro?”*. Essa é uma pergunta exploratória na medida em que busca a articulação de ideias do aluno, que responde a pergunta com uma **explicação**: *“Depende de como se olha.”*

Articular ideias, criar situações e verificar hipóteses envolvem uma exploração mista do que é observado ou sabido com o que é novo ou problemático. Se os alunos desenvolvem uma hipótese, tendem a responder uma pergunta exploratória sobre o

processo com **justificativas e explicações**. Se a pergunta vem relacionando uma articulação de ideias não evidentes, tendem a responder com **levantamento de hipóteses**. Em ambos os casos, portanto, lidamos com um processo de investigação, posterior à problematização e à elucidação dos dados: trata-se agora de uma articulação entre ideias e dados.

6.5 As Perguntas de sistematização e os indicadores associados

Em uma correlação muito clara, as **perguntas de sistematização** causam, na grande maioria das vezes, a expressão de **indicadores de explicação** pelos alunos. A pergunta de sistematização requer um conhecimento já obtido pelos alunos ou em processo de internalização. O que observamos nas duas aulas analisadas foi essa ocorrência em um número maior de vezes em dois momentos de cada aula.

No momento 2 da aula 2, no qual os alunos estão relembando os conceitos de interferência e efeito fotoelétrico, muitas perguntas de sistematização aparecem exatamente para retomar informações, fenômenos e conceitos necessários ao desenvolvimento da aula. No turno 29 do segundo momento da aula 2 o professor faz uma pergunta de sistematização: *“O que é o espectro discreto da luz?”*. Em seguida, o aluno responde: *“Quando você tem uma radiação que não tem todas as cores, aí você consegue ver quando passa de uma cor pra outra”*. Claramente, ele apresenta uma explicação para a pergunta feita. Essa pergunta, de sistematização, refere-se a conhecimentos anteriores à investigação e que serão necessários naquele momento ou durante toda a sequência.

Por outro lado, no final de toda discussão sobre a investigação, é necessária uma sistematização dos significados construídos ao longo da sequência. No momento 6 da aula 10, em que os alunos estão analisando as quatro interpretações, algumas perguntas de sistematização são feitas para que eles relacionem corretamente a interpretação com sua estrutura. No turno 277, o professor pergunta *“Qual interpretação fala que a luz tem duas partes?”*. Para essa pergunta de sistematização, há possíveis quatro respostas, quatro interpretações para o comportamento da luz. Naquele momento da aula, ela tem a função de organizar e sistematizar o conhecimento construído. A aluna então responde com uma explicação: *“Dualista”*. Uma relação clara de sistematização e explicação caminhando juntas para fortalecer um conceito.

6.6 As perguntas dos alunos e suas contribuições na AC

Uma observação que pudemos fazer nas análises das aulas – e para a qual não havíamos dispensado atenção inicialmente, por estarmos focados nas perguntas feitas pelo professor – trata das perguntas feitas pelos alunos. Nosso referencial teórico trata da pergunta como fenômeno discursivo, social e epistemológico, independente de quem a faça. Por outro lado, compreendendo o papel do professor no manejo das interações discursivas em sala de aula, focamo-nos em construir uma categoria de tipos de perguntas em aulas investigativas para analisar como o professor pode influenciar no processo de alfabetização científica. Para analisar os alunos, utilizamos os indicadores de alfabetização científica desenvolvidos por Sasseron (2008). Porém, a interface entre essas duas vertentes de análise está posta exatamente quando os alunos atuam na discussão fazendo perguntas que, ao serem analisadas sob o ponto de vista das categorias por nós desenvolvidas, desempenham, tal qual as perguntas que o professor faz, um importante papel na construção dos significados para o coletivo da sala.

Paulo Freire, supracitado em nosso referencial teórico, ancorava-se muito na participação dos alunos em seu próprio processo de aprendizagem do mundo. Para ele, os problemas a serem discutidos em sala de aula para possibilitar novas construções devem ser trazidos pelos alunos do seio de sua vivência social. Segundo Freire, a curiosidade alimenta o conhecimento, mobiliza as pessoas para buscá-lo:

“A curiosidade do estudante às vezes pode abalar a certeza do professor. Por isso é que, ao limitar a curiosidade do aluno, a sua expressividade, o professor autoritário limita a sua também. Muitas vezes, por outro lado, a pergunta que o aluno, livre para fazê-la, faz sobre um tema, pode colocar ao professor um ângulo diferente, do qual lhe será possível aprofundar mais tarde uma reflexão mais crítica.” (FREIRE, 1985, página 23)

Por outro lado, nosso outro referencial teórico de base, Bakhtin, nos oferece uma perspectiva dialógica das interações discursivas. A presença de várias vozes e discursos presentes na fala dialoga com a consciência do interlocutor. Mesmo que a fala externa não

se manifeste, há diálogo no pensamento de quem ouve.

Quando um aluno faz uma pergunta prevista em nossas categorias como de problematização, sistematização, sobre dados ou exploratórias sobre o processo, estamos dizendo implicitamente que a pergunta é parte da cadeia enunciativa para a construção de significados.

Abaixo, destacamos as oportunidades em que as perguntas dos alunos tiveram esse papel nas duas aulas analisadas, mostrando o desenrolar nas interações com o professor e com a turma.

No segundo momento da aula 2, em que se retomam conceitos de interferência e de efeito fotoelétrico, quatro perguntas dos alunos exercem esse papel dialógico.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicadores de AC
40	Rubens: Professor...				
41	Prof.: Fala Rubens.				
42	Rubens: Tem como descobrir se vai emitir ou não sem fazer o teste?	A pergunta do aluno	É possível descobrir se há ou não emissão de elétrons sem verificar na prática?	Pergunta de problematização	
43	Prof.: Como assim?				
44	Rubens: Tem alguma outra forma de saber se a luz vai emitir ou não elétrons, antes de colocar a luz naquele metal, tem como eu saber se vai emitir?	Reformula a pergunta	É possível descobrir se há ou não emissão de elétrons sem verificar na prática?	Pergunta de problematização	
45	Prof.: Não. Pra você saber se é efeito fotoelétrico o que você precisa saber, se o elétron vai ser arrancado de lá quando incide luz, então o que você faz primeiro, você mede pra ver se tá tendo emissão sem a luz, aí se tiver emissão sem a luz não é efeito fotoelétrico, lembra que a gente viu? São outras..Ah?				Explicação
46	Patrícia: Depois que sai o elétron do metal o que acontece?		Após a emissão do elétron o que acontece com o metal?	Pergunta de problematização	Organização de informações.
47	Prof.: O que ele fez aqui? Que ele mostrou lá o equipamento naquela simulação que tinha o Einstein falando? Ele colocou um amperímetro ali e mediu a passagem de corrente elétrica, não é isso? Então ele vai verificar se tem ou não, aí ele até colocou uma situação, a gente mediu alguma coisa com a fonte desligada por que?	Retoma um detalhe experimental da montagem	No experimento tivemos que medir a corrente com a fonte de luz desligada por quê?	Pergunta exploratórias sobre processo.	
48	A18 (não identificado): Tinha luz ambiente.				Explicação
50	Prof.: Tinha luz ambiente, então pra eu saber se é efeito fotoelétrico ou não o que eu faço, deixo completamente no escuro, sem incidência de luz nenhuma e verifico se tem emissão ou não, se houver emissão essa emissão não é devido ao efeito fotoelétrico. Tá?				
51	Rubens: Antes de eu fazer o experimento, eu sei que daqui a 10min eu vou lá por o metal na luz, eu quero saber antes de eu fazer isso tem como eu fazer um cálculo ou algo do tipo, alguma coisa pra saber se quando eu colocar vai emitir ou não?	Aluno retoma a pergunta	É possível descobrir se há ou não emissão sem verificar na prática?	Pergunta de problematização	
52	Prof.: Tem. O que vocês fizeram nos dois últimos exercícios? Vocês fizeram os cálculos, pra calcular o que?	Responde ao aluno	Nos exercícios, qual era nosso objetivo ao fazer os cálculos?	Pergunta exploratória de processo	

53	Cristina: A energia.				explicação
54	Prof.: A energia necessária pra isso acontecer. Só? Saber qual a energia necessária pra isso acontecer não é suficiente? Oi?				
55	Patrícia: Pra que serve isso aí?		Para que serve o efeito fotoelétrico?	Pergunta de sistematização	
56	Prof.: Pra que serve o que?	Busca entender a pergunta do aluno			
57	Patrícia: Aonde isso é usado?	A aluna deseja saber uma aplicação do fenômeno.	Em que situações o efeito fotoelétrico é usado?	Pergunta de sistematização.	
58	Prof.: Ah... você quer um exemplo técnico de onde é usado isso... fotocélula, pra acender a lâmpada a noite, sensor de elevador.				

Tabela 29: perguntas dos alunos no segundo momento da aula 2

Nesse recorte, duas dúvidas dos alunos são notadas. A primeira se refere a uma forma de saber teoricamente a emissão de elétrons ou não, e a segunda, a saber para que serve o efeito fotoelétrico, suas aplicações. É interessante notar que o professor utiliza outras perguntas para envolver os alunos na emergência da resposta.

Nos turnos 42, 44 e 51, o aluno pergunta e refaz a pergunta para o professor sobre a possibilidade de saber de antemão se o elétron sairia ou não da placa no efeito fotoelétrico. Essa pergunta é de problematização na medida em que se necessita aprofundar o conceito para respondê-la. A resposta do professor após a explicação da pergunta é falar da energia $h \cdot f$ ⁴ de uma partícula, da qual os alunos tomaram conhecimento quando trabalharam com o efeito fotoelétrico. O professor envolve os alunos na lembrança dos dados e observações para poder responder à pergunta. E ele o faz com outra pergunta no turno 52: “*Nos exercícios, qual era nosso objetivo ao fazer os cálculos?*”, e o aluno responde: “*Achar a energia*” (T 53). Ou seja, a pergunta do aluno é problematizadora para ele e para a turma na medida em que não se tem uma resposta evidente. É preciso articular informações para chegar à resposta, e o professor o faz lembrando os alunos do que eles haviam feito e não respondendo prontamente à dúvida. Esse processo faz com que os alunos reflitam sobre as condições do fenômeno e o entendam melhor. Embora esteja retomando conceitos, esse problema poderia ser posto pelo professor como forma de retomar o antigo experimento do efeito fotoelétrico.

Ainda no mesmo momento da aula 2, no turno 57, a aluna pergunta para o

⁴ $E = h \cdot f$, fórmula da energia quantizada

professor onde aquilo (efeito fotoelétrico) pode ser utilizado. É uma pergunta clara de sistematização na medida em que aplica o conhecimento em situações do dia a dia. Em uma atividade investigativa, a abordagem de aplicação do conhecimento normalmente é feita após a reflexão e compreensão dos conceitos envolvidos. É uma forma de verificar se aquele conceito foi internalizado e também de dar mais sentido a ele. Nesse caso, a pergunta também serve para todos os alunos que estão ouvindo a aluna. Muitos poderiam tentar responder, aplicando o conhecimento deles sobre o efeito fotoelétrico ao dia a dia e, assim, trabalhando com a relação conceito-realidade. O professor responde prontamente citando células fotoelétricas e sensores de acender a iluminação pública.

As perguntas dos alunos na aula 2 apresentam um caráter mais propositivo, não são feitas em decorrência de uma pergunta do professor ou em resposta a alguma pergunta dele. São intervenções no decurso da discussão que demonstram curiosidade e engajamento dos alunos na atividade. Ao olharmos sob a perspectiva dos indicadores de AC, elas não se encaixam em algum específico; são dúvidas importantíssimas para o processo de ensino-aprendizagem, por colocarem o aluno na condição de *“aceitar que não se sabe alguma coisa e, com essa atitude, mostrar que se quer saber, em vez de fingir que já se sabe.... é a ponte que nos põe em contato com o novo”* (CORTELLA, 2008).

No quinto momento da aula 2, quando a turma está discutindo o problema do caráter dubio da luz, dizendo que os modelos conhecidos não explicam perfeitamente todos os fenômenos da luz, um aluno faz uma pergunta:

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicadores de AC
192	Prof.: Uma terceira coisa? Lembrando desde o início lá, nossa primeira discussão sobre modelo, onda e partícula são excludentes. Onda tá espalhada, partícula tá localizada, certo? Começa por aí, algo pode estar ao mesmo tempo bem localizado e espalhado? Dá pra ser ao mesmo tempo as duas coisas?	Reforça a conclusão colocando o fator do tempo e as características dos objetos físicos onda e partícula. Problematicando.	Se a luz está espalhada no espaço e a partícula está bem localizada, algo pode estar ao mesmo tempo espalhado e localizado?	Pergunta de problematização	
193	Patrícia: Depende.				Levantamento de hipótese
194	Prof.: Depende né? O que a gente tem até agora é isso aqui, interferência eu só consigo explicar como onda, efeito fotoelétrico só consigo como partícula...				
195	Gilberto: A luz não poderia ser uma			Pergunta de	Levantamento

	exceção?			problematização	de hipótese
196	Prof.: Poderia? Vamos tentar discutir juntos a luz na mecânica quântica, certo?				

Tabela 30: perguntas dos alunos no quinto momento da aula 2

O professor problematiza uma questão central da atividade investigativa sobre a incoerência entre os modelos corpusculares e ondulatórios: se pode haver algo ao mesmo tempo localizado e não localizado no espaço (como partículas e ondas, respectivamente). Como vimos em nossa análise, essa pergunta de problematização demanda o levantamento de hipóteses, e uma delas é colocada em forma de pergunta direcionada ao professor: “A luz não pode ser uma exceção?” (T 195). Ela revela uma articulação entre as contradições apresentadas durante a aula 2 para os modelos não explicarem todos os comportamentos da luz. É uma hipótese riquíssima do ponto de vista conceitual, pois, de fato, os objetos quânticos, como o fóton, se comportam de forma diferente. Essa hipótese lançada para a turma é também uma pergunta de problematização, pois expõe uma possível natureza distinta da luz. O propósito do professor é exatamente estudar essa natureza. Por isso, naquele momento da aula que inicia a investigação, ele responde introduzindo e validando o problema do aluno sem respondê-lo, já que a resposta será buscada ao longo da sequência.

Tomando pela ótica de nossas categorias, trata-se de uma pergunta de problematização, exatamente pelo fato de ser necessário uma série de experiências para poder entender melhor o comportamento da luz – experiências as quais os alunos tomariam contato naquela SEI. Ao mesmo tempo em que essa pergunta é problematizadora, é também uma hipótese sobre a natureza da luz, de que, talvez, a luz pudesse ter comportamentos duplos.

Considerando o conceito de dialogia expresso por Bakhtin (2000), podemos dizer que esta pergunta do aluno tem um papel duplo ao problematizar a questão perante os outros alunos que estão ouvindo aquele enunciado e ao levantar uma hipótese para o enunciador e para a turma. Em um processo de pensamento e fala interior, a pergunta problematiza, mas para o aluno é uma hipótese para a natureza da luz. Hipótese na qual outros poderiam ainda não ter pensado. Isso enriquece o escopo de possibilidades para o problema da natureza da luz.

Na aula 10, há outros momentos em que perguntas de problematização são feitas

pelos alunos. Da mesma forma, neste caso, as perguntas dos alunos têm um papel duplo. Problematizam perante a sala e indicam levantamento de hipóteses por parte de quem pergunta.

No segundo momento dessa aula, quando discutem de que forma um fóton individual se comporta no interferômetro de Mach-Zehnder, o aluno Gilberto lança mais uma pergunta.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicadores de AC
053	Professor: dessa maneira [aponta para uma das imagens], a formação, ela é instantânea, né? E nessa aqui [aponta a outra imagem] ele vai se formando conforme vai acontecendo a chegada das partículas.				
054	Gilberto: No laser os fótons estão todos juntinhos?			Pergunta de problematização	Levantamento de hipótese
055	Professor: Não, laser a gente tem que pensar na luz sendo onda. Na verdade, ora como onda, ora como partícula. Bom, e aqui? Alice S, compare essas duas figuras.				

Tabela 31: perguntas dos alunos no segundo momento da aula 10

Essa pergunta, da mesma forma que nos recortes anteriores com perguntas de alunos, demonstra uma articulação e entendimento do experimento no qual os fótons individualmente chegam para montar uma figura de interferência e uma especulação sobre a natureza da luz, ou seja, se a luz pode ser vista como partículas individuais, um laser é um conjunto de fótons que podem estar todos juntos. Essa é, senão, a natureza quântica da luz. Novamente, a pergunta, feita diante dos colegas de turma, auscultadores, problematiza a natureza da luz e levanta uma hipótese sobre ela para o aluno. O processo de dialogia ocorre de forma intensa com o aluno que pergunta, dada a articulação entre o aprendido, o observado e a fala do professor, e também para os colegas, que se deparam com um novo problema e uma nova hipótese. O mesmo se observa no quarto momento da aula 10, quando discutem as quatro interpretações da mecânica quântica para a luz.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicadores de AC
131	Gilberto: Professor, e se eu disser que a luz é partícula...				
132	Professor: Silêncio, eu não estou ouvindo o Gilberto que ta quase do meu lado. Fala, Gilberto.				
133	Gilberto: E se eu falar que a luz é partícula com fatores ondulatórios ou é onda com fator de partícula?			Pergunta de problematização	Elaboração de hipóteses / explicação

134	Professor: Aí nesse caso, você acha que vai ta dentro de qual dessas interpretações?	Faz o aluno situar sua descrição dentro de uma das interpretações da mecânica quântica	Qual interpretação contempla o fato da luz ser uma onda com aspectos de partícula ou partícula com fatores ondulatórios?	Pergunta exploratória de processo	
135	Gilberto: Então, mas assim, no meu raciocínio ela segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro.				Justificativa / rac. lógico
136	Professor: Dá pra encaixar, não dá? Dentro de uma dessas interpretações. Fala aí, Cristina.				

Tabela 32: perguntas dos alunos no quarto momento da aula 10

O aluno lança uma pergunta de problematização que é, ao mesmo tempo, uma hipótese sobre a natureza da luz. Nesse momento da sequência, essas questões estão sendo discutidas e esclarecidas, portanto, as hipóteses estão mais elaboradas. Do mesmo modo que problematiza, cria uma possibilidade para a natureza da luz. O professor novamente não responde diretamente, mas faz com que os alunos olhem para as linhas interpretativas para encaixar aquela hipótese dentro de uma descrição das interpretações da mecânica quântica para a natureza da luz.

No sexto momento da aula 10, quando discutem as explicações das quatro interpretações da mecânica quântica para a interferência com apenas um fóton, Alice faz uma pergunta.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicadores de AC
219	Professor: O fóton como sendo uma onda, certo? O fóton é uma onda e aí você tem o quê? Você divide ao meio no primeiro semiespelho, quando ele chega no segundo semiespelho ele se junta novamente e aí a gente tem a interferência. Agora, na segunda interpretação o fóton é uma partícula e aí ela não se divide nunca, ta certo?				
220	Alice: Por que uma partícula não se divide?	Aluna questiona o princípio da indivisibilidade das partículas fundamentais		Pergunta de problematização	Levantamento de hipótese
221	Professor: Não. É a menor porção que a gente pode ter. E aí neste caso, para um único fóton... Ah... Como é que eu vou explicar a interferência?	Professor reforça o princípio. Para a figura de interferência busca uma explicação para a ondulatória visualizando um único fóton	Como explicar a interferência em um único fóton pela interpretação ondulatória?	Pergunta exploratória de processo	
222	Gilberto: Um único fóton é uma única partícula...				Classificação/ organização

Tabela 33: perguntas dos alunos no sexto momento da aula 10

Essa última pergunta é extremamente problematizadora na medida em que sua exploração remonta a problemas da Física atual, dos modelos utilizados. Normalmente, não se discute o porquê das partículas fundamentais serem fundamentais. E há teorias de que talvez elas não sejam. Portanto, uma pergunta com essa natureza certamente causa a quem ouve e está, naquele momento da aula, debruçado sobre a natureza da luz, uma problematização.

7. Considerações finais

Ao longo deste trabalho, intentamos responder às seguintes perguntas de pesquisa: *“Quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula de Física em que os alunos resolvem um problema?”* e *“Que tipo de contribuição as perguntas podem trazer para um ensino que vise a AC?”*. Para tal, elaboramos, em consonância com nosso referencial teórico sobre as interações discursivas e o ensino de Ciências, uma categoria para classificar os tipos de perguntas que o professor faz em uma aula investigativa de

Física. Utilizamos também os indicadores de alfabetização científica (SASSERON, 2008) para verificar quais deles ocorrem no decurso das falas dos alunos na interação com o professor e com os colegas.

Em nossa análise, classificamos e verificamos os padrões das perguntas do professor em aulas investigativas em que há um número grande de interações discursivas, e verificamos, concomitantemente, quais indicadores de alfabetização científica os alunos apresentam em seus discursos no decorrer da interação. Nossa análise está circunscrita a uma sequência sobre dualidade onda-partícula (BROKINGTON, 2005) utilizando os dados oriundos da pesquisa de mestrado de Barrelo Jr. (2010).

Observamos que há uma relação íntima entre as perguntas do professor e os indicadores de AC associados em determinados momentos das aulas. Essa relação expressa a pergunta como uma enunciação (BAKHTIN, 2000), com a característica de requerer do interlocutor uma expressão de resposta. Definimos a pergunta em nosso trabalho como um instrumento dialógico de estímulo à cadeia enunciativa responsiva, sendo assim usado com propósito didático dentro da estória da sala de aula, para traçar e acompanhar a construção de um significado e um conceito. Essa definição orientou nossa análise na medida em que percebemos o estímulo à cadeia enunciativa (BAKHTIN, 2000), com o qual os alunos se envolvem dialogando intensamente com o conjunto da sala de aula na busca por soluções, conceitos e investigações a cerca da dualidade onda-partícula e suas interpretações. Tal envolvimento dos estudantes também pôde ser identificado por meio dos indicadores de alfabetização científica apresentados por eles no decorrer das discussões. Assim, a relação entre a pergunta do professor e os indicadores de AC dos alunos se configurou em pares pergunta-indicador.

Os pares mais observados em nossas análises foram:

Perguntas de **problematização / levantamento de hipóteses** – conforme ressaltamos, a atividade investigativa requer um problema a ser apreciado, buscado e discutido. Um problema pressupõe uma situação na qual não há respostas evidentes para resolvê-la (GIL-PÉREZ *et al*) e, portanto, o que se faz primeiro na investigação científica, diante de uma situação problema, é o levantamento de hipóteses. E, do mesmo modo, observamos o levantamento de hipóteses na atividade investigativa analisada.

Perguntas sobre dados / organização de informações – Em uma atividade investigativa, as variáveis relevantes ao fenômeno são discutidas com o grupo de alunos,

que busca uma resposta ao problema. É notória na investigação a relação entre os dados disponíveis para a atividade e a organização das informações para considerar variáveis relevantes e descartar dados. Ao fazer esse tipo de pergunta, o professor explicita a necessidade de considerar ou levar os alunos a refletir sobre quais seriam os dados importantes a serem considerados na atividade investigativa. Por sua vez, os alunos organizam as informações disponíveis de forma a eliminar as variáveis irrelevantes e considerar as relevantes para compreender o fenômeno.

Perguntas exploratórias sobre o processo / levantamento de hipótese e Perguntas exploratórias sobre o processo/explicações e justificativa – após lidar com os dados e suas relações causais, relacionar ideias a fatos é um processo de exploração dos fenômenos estudados. Tal relação pode conter hipóteses sobre a forma como o conceito se aplica ou se comporta diante de uma situação, ou conter explicações oriundas dessa articulação de ideias tendo em vista e relação já estabelecida com os dados e os fenômenos.

Perguntas de sistematização / explicações e justificativas – no processo de investigação, são necessários muitas vezes o levantamento dos saberes prévios dos alunos e seus conhecimentos anteriores sobre determinado conceito, assim como alguns conceitos mais fundamentais, para que o problema proposto possa ser considerado pelos alunos como um problema de fato. Nessa etapa, anterior à proposição do problema, saber pontualmente se os alunos dominam os conceitos prévios envolve perguntas de sistematização e, na grande maioria das vezes, explicações e justificativas são dadas diante de um conceito já internalizado. Em nossa análise, no início da sequência, o professor pergunta sobre a reflexão (fenômeno já visto e discutido pelo grupo) e, em resposta, os alunos explicam e justificam o que é esse fenômeno. Por outro lado, ao término de uma SEI, pretende-se que os alunos tenham aprendido um determinado conceito, relacionando-o com a realidade social em que vivem (aspectos centrais da alfabetização científica). Neste momento da aula, as perguntas de sistematização buscam uma explicação do aluno sobre o conceito recém-construído e suas relações. As respostas a ela são também explicações e justificativas.

Não existem somente essas relações de pares em uma atividade investigativa. Porém, os pares destacados de nossa análise apresentam coerência com o que entendemos como atividade investigativa e com a construção da nossa categoria de

perguntas feitas pelo professor. Verificamos, portanto, uma relação íntima entre as perguntas do professor e os indicadores de AC dos alunos nas aulas investigativas.

Diante de tais considerações, devemos nos voltar às perguntas de pesquisa para lhes conferir a resposta que nosso trabalho de pesquisa construiu.

7.1 Quais os tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula de Física em que os alunos resolvem um problema?

A categorização dos tipos de perguntas foi elaborada teoricamente por nós e se constitui de perguntas de problematização, perguntas sobre dados, perguntas exploratórias sobre processo e perguntas de sistematização. Cada uma tem uma descrição apresentada na tabela 10 (página 42). Essas perguntas seguem nossos pressupostos teóricos sobre a alfabetização científica, as interações discursivas, a construção coletiva dos significados e as atividades investigativas problematizadoras.

Nossa análise mostrou que essa categorização é amplamente verificada nas aulas investigadas, nas quais os alunos estão resolvendo um problema. Tal ocorrência nos permite responder uma das perguntas de pesquisa considerando nossas categorias como válidas para nossos propósitos na pesquisa.

7.2 Que tipo de contribuição as perguntas podem trazer para um ensino que vise à AC?

Nossa análise apontou uma relação entre as perguntas do professor e os indicadores de alfabetização científica dos alunos. Essa relação expressa uma influência das perguntas e seus diferentes tipos no processo de construção de argumentos pelos alunos em sala de aula e, conseqüentemente, nos indicadores de alfabetização científica observados. Embora não consigamos responder precisamente o tipo de contribuição que as perguntas podem trazer para um ensino que vise à AC, sabemos que há contribuição na forma como se pergunta, sabendo, de antemão, que determinada pergunta requererá dos alunos, pelo seu caráter dialógico e intenção do professor no momento da aula, um tipo de raciocínio circunscrito ao contexto da pergunta. Ou seja, em uma aula onde as perguntas são postas obedecendo ao desenvolvimento da turma no curso da investigação, estas contribuirão para a alfabetização científica dos alunos. A fala do professor dialoga com os alunos e estes respondem ao estímulo com aspectos relacionados à alfabetização científica, como a argumentação, a compreensão básica de termos e conceitos científicos, e as relações entre Ciência e Tecnologia.

8. Conclusões

As considerações finais de nosso trabalho já servem como conclusões da pesquisa proposta e das respostas às perguntas motivadoras deste trabalho de investigação. Podemos, diante do trabalho realizado e das considerações postas até agora, concluir, para finalizar a pesquisa desenvolvida, que a relação entre as perguntas do professor e os indicadores de alfabetização científica dos alunos existe e é profícua para ser

explorada em sala de aula. Concluimos também que não só a pergunta do professor desenvolve esse papel; muitas vezes as perguntas que os alunos colocam durante a discussão exercem uma função semelhante àquela esperada por nós no início do trabalho em relação ao professor. Tal observação nos indica não só um processo de construção compartilhada e coletiva do conhecimento, como também um engajamento dos alunos em uma aula dialógica, colaborando e expressando dúvidas acerca de seus entendimentos. Essas dúvidas são, ao mesmo tempo, reconhecidas pelo restante da turma em um processo de dialogia e responsividade (Bakhtin, 2000). Isso nos faz supor que, quanto maior a participação dos alunos por meio de perguntas (dúvidas), mais rica do ponto de vista dialógico e de construção de significado será uma aula investigativa. Hipótese baseada em nossas observações, e profícua para futuras investigações.

9. Referências Bibliográficas

Amaral, E. M. R.; Mortimer, E. F. “Uma metodologia para análise da dinâmica entre zonas de um perfil conceitual no discurso da sala de aula.” In: SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. (Orgs.). **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí: Unijuí, 2006.

Azevedo, M. C. P. S. de. “Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala

- de aula.” In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Thomson, 2005. p. 19-33
- Bachelard, G (1938). **A formação do espírito científico - contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007, 316p.
- Bakhtin, M. M. **Marxismo e Filosofia da Linguagem**. 13. ed. São Paulo: Hucitec, 2009.
- Barrelo N. J., **Argumentação no discurso oral e escrito de alunos do ensino médio em uma sequência didática da Física moderna**. 2010. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação da Usp, . *Orientador*: Anna Maria Pessoa de Carvalho.
- Bybee, R.W. e DeBoer, G.E., “Research on Goals for the Science Curriculum”, In: Gabel, D.L.(ed.), **Handbook of Research in Science Teaching and Learning**, New York, McMillan, 1994.
- Biasoto, J.E, **O Pensamento em Ação dos Alunos na Resolução de um Problema Experimental de Física**, Dissertação de mestrado, IF/FEUSP, São Paulo, 2010.
- Brockington, G. **A realidade escondida: a dualidade onda - partícula para estudantes do ensino médio**. 2005. 341p. dissertação (mestrado em ensino de ciências). IF – FEUSP, São Paulo, 2005
- Bueno, Silveira. **Grande dicionário etimológico prosódico da língua portuguesa**. São Paulo: Saraiva, 8 volumes. 1966.
- Capecchi, M.C.V. M e Carvalho, A.M.P, “Argumentação em uma Aula de Conhecimento Físico com Crianças na Faixa de Oito a Dez Anos”, **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5, n.2, 171-189, 2000.
- _____, **Aspectos da Cultura Científica em Atividades de Experimentação nas Aulas de Física**, Tese de Doutorado. São Paulo: FE-USP, 2004.
- Carmo, A.B., **A Linguagem Matemática em uma Aula Experimental de Física**, Dissertação de Mestrado. São Paulo: IF-USP e FE-USP, 2006.
- Carlsen, W. S. “Language and Science Learning”. In: S.K Abell. and N.G. Lederman (org.), **Handbook of Research on Science Education** (Lawrence Erlbaum Ass. Pub, 2007), p. 57-74
- Carvalho, A.M.P., “Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequencias de ensino investigativas (SEI)”, In LONGHINI, M. C.

- (org.) **O Uno e o Diverso na Educação**. Uberlândia/MG: EDUFU, 2011
- Carvalho, A.M.P., “Building up Explanations in Physics Teaching”, **International Journal of Science Education**, v.26, n.2, 225-237, 2004.
- Carvalho, A.M.P e Gil-Pérez, D., **Formação de Professores de Ciências – Tendências e Inovações**, 6ª. ed, São Paulo, Cortez, 1998.
- Carvalho, A.M.P., Vannucchi, A.I., Barros, M.A., Gonçalves, M.E.R. e Rey, R.C., **Ciências no Ensino Fundamental – O conhecimento físico**. São Paulo: Editora Scipione, 1998.
- Clough, M. P. (2007). **What is so Important about Asking Questions?** Iowa Science Teachers Journal, Editorial, 34(1), 2-4.
[http://ists.pls.uni.edu/istj/issues/34/1_winter_07/editorial_34\(1\).pdf](http://ists.pls.uni.edu/istj/issues/34/1_winter_07/editorial_34(1).pdf)
- Cortella, M. S. **O que é a pergunta?** 1.ed. São Paulo: Cortez, 2008
- Driver, R. e Newton, P., **Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms**, ESERA Conference, Roma, 1997.
- Erickson, F., “Qualitative Research Methods for Science Education”, in: Fraser, B.J. e Tobin, K.G. (orgs.), **International Handbook of Science Education**, Part One, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- Exploratorium Institute for Inquiry, **Professional Development Tools for Inquiry-Based Science**. 3. Effective Questioning, San Francisco University, 2006.
<http://www.exploratorium.edu/ifi/activities>
- Freire, P., **Por uma pedagogia da pergunta**. Rio de Janeiro : Paz e Terra, 1985
- Freire, P., **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 2007
- Gil-Pérez, D.; Torregroza, M. J.; Ramirez, L.; Dumas Carre, A.; Gofard, M.; Carvalho, A. M P. **Questionando a didáctica de resolução de problemas: elaboração de um modelo alternativo**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 9, n. 1, p. 7-19, 1992.
- Hargie, O. D. W. (1983). “The Importance of Teacher Questions in the Classroom”. In M. Stubbs and H. Hillier (Eds.), **Readings on Language, Schools and Classrooms** (pp. 185-192). London: Methuen.
- Heidegger, M., **Lógica: A Pergunta pela essência da Linguagem**. Lisboa: Fundação

Calouste Gulbenkian, 2008

Jiménez-Aleixandre, M.P., Bugallo Rodríguez, A. e Duschl, R.A., **“Doing the Lesson” or “Doing Science”: Argument in High School Genetics**, *Science Education*, v.84, 757-792, 2000.

Lemke, J., “Multiplying Meaning: Visual and Verbal Semiotics in Scientific Text”, in: Martin, J.R. e Veal, R. (eds.), **Reading Science**, Londres, Routledge, 87-113, 1998.

Lemke, J., (1998). **Teaching all the language of science: Words, symbols, images and actions**. International conference on ideas for a scientific culture (Museo de Cienra / Fondacion La Caixa, Barcelona). [En ligne]. Disponible : <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>

Leontiev, A., **O desenvolvimento do psiquismo**. Lisboa: Horizonte, 1978.

Locatelli, R.J., **Uma Análise do Raciocínio Utilizado pelos Alunos ao Resolverem os Problemas Propostos nas Atividades de Conhecimento Físico**, Dissertação apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, 2006.

Lorencini Júnior, A., “O ensino de Ciências e a formulação de perguntas e respostas em sala de aula”. In: **Cadernos de Textos da III Escola de Verão**. Serra Negra, São Paulo: FEUSP, 1994, p. 128-137

Martens, M.L., **Productive questions: Tools for supporting constructivist learning. Science Children**. 1999. 53:7. [NCES] National Center for Education Statistics. Highlights from the Third International Mathematics and Science Study-Repeat (TIMSS-R). 2000. <http://nces.ed.gov/timss/timss-r/highlights.asp>

Martins, I., Ogborn, J; Kress, G. Explicando uma explicação. **Ensaio – Pesquisa em educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 1-14, 1999.

Martins, I., “Dados como diálogo: construindo dados a partir de registros de observações de sala de aula”. In: Santos, F. M. T.; Greca, I. M.. (Org.). **A Pesquisa em Ensino de Ciência no Brasil e suas Metodologias**. 1 ed. Ijuí: Editora da Unijuí, 2006, v. , p. 297-321.

Menezes, L. (1996). [A importância da pergunta do professor na aula de Matemática](#). In J. Ponte, C. Monteiro, M. Maia, L. Serrazina, C. Loureiro Orgs. **Desenvolvimento Profissional dos Professores de Matemática: Que Formação?** (pp. 105-116). Secção de Educação Matemática - Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação: Lisboa.

- Mortimer, E. F.; Scott, P. **Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 3, 2002. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n3/v7_n3_a7.htm >. Acesso em: 29 abr. 2007.
- Rodrigues, T. A.; Borges, A. T. **O Ensino De Ciências Por Investigação: Reconstrução Histórica**. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Curitiba –. 2008.
- Rosa, J. G. **Grande Sertão Veredas**, 3ª edição, Rio de Janeiro: José Olympio, 1993.
- Roth, W.M., **Competent Workplace Mathematics: How Signs Become Transparent**, International Journal of Computers for Mathematical Learning, v.8, n.3, 161-189, 2003.
- Sasseron, L.H. e Carvalho, A.M.P. **Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo**. Ciência & Educação, no prelo.
- Sasseron, L.H., **Alfabetização Científica no ensino Fundamental – Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula**, tese apresentada à Faculdade de Educação da USP, 2008.
- Sasseron, L.H. e Carvalho, A.M.P. **Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. Investigações em Ensino de Ciências**, v.13 n.3 pp. 333-352, 2008.
- Silva, J. F.. **Apropriação da linguagem científica por parte dos alunos em uma sequência de ensino de física**. 2009. Dissertação (Mestrado em FÍSICA) - Interunidades Física e FEUSP, Orientador: Anna Maria Pessoa de Carvalho.
- Vieira, R. D. ; Nascimento, S. S. **Uma visão integrada dos procedimentos discursivos didáticos de um formador em situações argumentativas de sala de aula**. Ciência e Educação (UNESP), v. 15, p. 1-15, 2009.
- Vygotsky, L. S. **Pensamento e linguagem**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- Wertsch, J. **La Mente en Acción**. Buenos Aires: Aique, 1999
- Yore, L.D., Bisanz, G.L e Hand, B.M., **Examining the Literacy Component of Science Literacy: 25 Years of Language Arts and Science Research**, International Journal of Science Education, v. 25, n. 6, 689-725, 2003.

ANEXO A

Do real clássico ao ideal quântico:

Uma sequência de aulas para introduzir o tema dualidade onda-partícula no ensino médio. Informações gerais sobre a sequência de aulas (11 aulas)

A sequência se inicia com uma revisão das noções básicas de óptica clássica e de diferentes modelos para a luz (raio luminoso, modelo corpuscular e ondulatório).

Após construir e ajustar o interferômetro de Mach-Zehnder (MZ); discutimos o comportamento da luz no interferômetro e seguimos explorando o interferômetro como experimento de pensamento com fótons únicos. Visamos assim estudar a dualidade onda-partícula, o princípio da complementaridade e a noção de superposição de estados quânticos contemplando a dimensão

epistemológica do conhecimento físico.

Objetivos:

1) Incentivar o aluno a refletir:

- sobre a natureza do fenômeno quântico considerando-o a partir de uma abordagem relacional, ou seja, partindo de diferentes pontos de vista: do objeto observado, do instrumento de medida e do papel observador.
- sobre as implicações filosóficas da física quântica para o desenvolvimento do conhecimento físico.
- sobre o conhecimento físico e tecnológico como construção humana e a noção de realidade.

2) Desenvolver no aluno competências que deverão manifestar-se em suas habilidades para racionar matematicamente (formal), empregar conceitos adequadamente (conceitual) e observar e descrever objetivamente fenômenos físicos (fenomenológica).

3) Estimular o aluno a pensar e a argumentar criticamente desenvolvendo sua capacidade de trabalhar em grupo, socializar seu conhecimento, contrapor opiniões diferentes e expressar-se de maneira clara e direta.

Conteúdo Físico (11 aulas)

Conceitos de óptica geométrica: reflexão, refração, transmissão e propagação da luz

Modelos para o comportamento da luz: raio, corpuscular e ondulatório

Funcionamento do interferômetro

Interferência

Laser

Fóton

Dualidade onda-partícula

Interpretações de mecânica quântica

Metodologia

- realização de aulas expositivas, demonstrações (professor).
- simulações experimentais (alunos)
- realização de atividades experimentais (trabalho em grupo)
- discussões em sala de aula
- uso de textos de apoio e de vídeos e DVDs educacionais.

Aula 1 : O universo físico

Objetivos:

- Apresentação da proposta de aulas para os alunos.
- Levantar as concepções dos alunos sobre as seguintes questões (questionário para responder em classe):
 1. Como você explicaria o que é “física” para alguém que nunca estudou física?
 2. O que é física quântica para você?
 3. Você gostaria de aprender algo sobre física quântica? O quê? Por quê?
- Motivar os alunos a refletirem sobre o tema “a natureza do conhecimento físico”.

Conteúdos:

- O universo físico (o que existe no universo? O que existe no universo físico? Qual a diferença entre esses dois universos?).
- Trabalhar conceito de trajetória e caracterizar os “objetos tipo partícula” contrapondo-os aos “objetos tipo onda”.
- A natureza do conhecimento físico (como a física “funciona”? Qual o papel da observação, dos modelos, das leis gerais, da matemática, das representações gráficas, etc.?)

Materiais e recursos:

- Apresentação da sequência didática (apresentação data-show: conhecimento físico).
- Questionário.
- Material para atividade do tatuzinho (tatuzinhos, tubos de mangueira transparente, régua, papel milimetrado, cronômetro, etc.).

Momentos:

- O professor apresenta em linhas gerais os objetivos e o conteúdo das aulas da sequência de aulas.
- O professor apresenta o esquema do vetor epistemológico (apresentação data-show) discutindo brevemente o processo de construção do conhecimento científico e relacionando essa discussão com a construção do fenômeno quântico que será estudado ao longo dos quatro episódios epistemológicos.
- Os alunos respondem o questionário proposto pelo professor.

O professor propõe a atividade do tatuzinho:

- O professor fornece as instruções e o material necessário para a realização da atividade do tatuzinho.
- Os alunos trabalham em grupos na atividade do tatuzinho.
- O professor propõe e estimula uma discussão sobre a natureza do conhecimento físico baseado na atividade do tatuzinho de modo a levantar as concepções dos alunos sobre o que é relevante/irrelevante para o estudo do comportamento do tatuzinho do ponto de vista da física (ex. relevante: perceber a relação entre a distância percorrida e o tempo; irrelevante: considerar o estado emocional do tatuzinho).
- O professor sistematiza as ideias dos alunos sobre o que pertence ao universo e ao universo físico sistematizando a discussão sobre o conhecimento físico a exemplo da atividade do tatuzinho (ex. discute com os alunos o que essa atividade poderia significar para um biólogo, um físico, um psicólogo, um trabalhador rural, uma pessoa que não frequentou a escola etc.).

Aula 2: O nascimento da física quântica

Objetivos:

- Contextualizar o nascimento da física quântica (problema prático ligado a questão da radiação do corpo negro e da necessidade de adaptação da teoria aos dados experimentais).

Conteúdos:

- História da física antes de 1900 (modelo ondulatório bem estabelecido).
- História da física por volta de 1900 (problema: determinar a melhor fonte de luz para iluminar as cidades europeias: iluminação a gás ou iluminação elétrica recém descoberta; necessidade de comprar fontes luminosas diferentes: corpo negro como fonte de luz ideal, quantização da radiação por Planck: nascimento da física quântica).

Materiais e recursos:

- Apresentação data-show (o nascimento da física quântica).
- Textos de apoio para os alunos.
- Fontes luminosas diferentes (lâmpião de gás e luz elétrica comum).

Momentos:

- O professor apresenta em linhas gerais o modelo corpuscular de Newton e o modelo ondulatório salientando que esses dois modelos são contraditórios.
- O professor chama a atenção para o fato de que no final do século XIX, período que antecede o nascimento da mecânica quântica, o modelo ondulatório era o modelo aceito pela comunidade científica.
- O professor mostra as duas fontes luminosas (gás e eletricidade) e pede para que os alunos as comparem e determinem qual é que mais ilumina, qual consome mais energia, etc. (o professor salienta a dificuldade de uma avaliação subjetiva e a necessidade de realizar medidas mais precisas para comparar diferentes fontes luminosas).
- O professor apresenta e contextualiza o momento histórico de nascimento da mecânica quântica (problema prático era comparar duas fontes de luz diferentes e daí a necessidade de se utilizar uma fonte padrão de comparação, a fundação do instituto de física do reino em Berlim, as medidas dos espectros etc.).

Bloco Temático: Trabalhando com os componentes ópticos do interferômetro de Mach-Zehnder

Informações gerais sobre o bloco:

No primeiro episódio temático o tema central das aulas baseia-se na observação do comportamento de um feixe luminoso emitido por uma fonte laser ao interagir com espelhos

planos, semiespelhos, lentes e anteparos opacos (componentes ópticos básicos para a construção de um interferômetro de Mach-Zehnder clássico).

Nesse bloco os alunos devem “experimentar” com objetos reais e concretos (espelhos, semiespelhos etc.) paralelamente com objetos de pensamento (modelos propostos para explicar o comportamento da luz como, por exemplo, o raio luminoso, o modelo corpuscular de Newton e o modelo ondulatório) e, assim, perceberem a diferença entre essas classes de objetos.

Aula 3: (trabalhar propriedades de reflexão, refração e propagação da luz e a idéia de raio como modelo para a luz)

Objetivos:

- Os alunos devem observar o comportamento do feixe luminoso ao se propagar no espaço e serem capazes de perceber que: a luz se propaga em linha reta, o feixe de laser sofre uma dispersão pequena ao longo de seu percurso até atingir um anteparo opaco e que, ao atingir o anteparo, o raio luminoso produz uma mancha clara praticamente homogênea sobre o mesmo.
- Os alunos devem observar o comportamento da luz ao interagir com o espelho e serem capazes de perceber e expressar oralmente (de forma qualitativa) a lei da reflexão: o ângulo de incidência é igual o ângulo de reflexão.
- Os alunos devem observar o comportamento da luz ao interagir com o semiespelho e serem capazes de perceber e expressar oralmente o fato de que o feixe luminoso ao interagir com o semiespelho é dividido em dois feixes de intensidades aproximadamente iguais sendo que: o feixe que atravessa o semiespelho (feixe transmitido) sofre um desvio na sua direção de propagação e abandona o semiespelho numa direção de propagação paralela à da incidência inicial e o feixe refletido obedece a lei da reflexão.
- Os alunos devem utilizar o modelo de raio luminoso para esquematizar em um desenho o comportamento da luz ao interagir com o espelho e com o semiespelho.
- Os alunos devem ser capazes de diferenciar feixe e raio luminoso (feixe: algo real ligado a nossa percepção sensorial e raio: objeto construído mentalmente, sem dimensão).

Conteúdos:

- Reflexão, refração, transmissão e propagação do feixe de luz.
- Conceitos de feixe e raio luminoso.

Materiais e recursos:

- Componentes ópticos necessários para a construção de um interferômetro de Mach-Zehnder (fonte de laser, dois espelhos planos, dois semiespelhos, dois anteparos opacos).
- Talco ou pó de giz para refletir o feixe de laser.

Dicas para o professor:

- As atividades propostas no presente episódio temático devem, se possível, ser realizadas em uma sala escura.
- Se não houver material suficiente para que os alunos realizem as atividades propostas em grupos, o professor pode realizá-las como demonstração. Neste caso, se possível, usar uma câmera de vídeo para captar a imagem dos experimentos feitos pelo professor e projetá-la em uma tela para que todos os alunos possam observar e interagir com as ações do professor durante as demonstrações experimentais.
- **ATENÇÃO:** alertar os alunos para os perigos da utilização do laser (nunca olhar diretamente para o feixe!).

Momentos:

1) O professor propõe que os alunos realizem em grupos de aproximadamente 5 componentes:

- Projetar o feixe de laser sobre o espelho variando o ângulo de incidência.
OBS: para visualizar a trajetória do feixe pode-se espalhar um pouco de talco ou pó de giz na região.
- Observar o comportamento do feixe refletido buscando estabelecer uma relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão.
- Desenhar numa folha de papel o que foi observado.
- Repetir o procedimento descrito anteriormente utilizando um semiespelho (iniciar com ângulo de incidência de aproximadamente 45°) buscando estabelecer uma relação entre o feixe incidente e os feixes transmitidos e refletidos.

2) O professor faz as seguintes demonstrações em sala de aula (ou propõe que os alunos as

realizem em grupos):

- Projetar o feixe de laser sobre um anteparo opaco colocado a aproximadamente 5 m da fonte.
- Comparar o diâmetro do feixe próximo a fonte com o diâmetro do feixe sobre o anteparo.
OBS: o laser não deve apresentar uma dispersão grande.
- Desenhar o que foi observado.
OBS: A intenção é que os alunos percebam que a noção de feixe se diferencia da noção de raio. Numa experiência de pensamento podemos reduzir a espessura do feixe de modo a obter um feixe tão estreito, que somente pode existir como uma construção geométrica. Esse não seria mais um feixe, mas sim um raio! A ideia é chamar a atenção dos alunos para o processo de modelagem do feixe transformando-o em raio e então estender essa discussão para o espelho, o semiespelho, os anteparos etc. O que é um espelho ideal? (não tem dimensão, não há perda de energia etc.).

Aula 4: (modelo corpuscular de Newton X modelo ondulatório)

Objetivos:

- Os alunos devem conhecer diferentes modelos para a luz: raio, o modelo corpuscular e o modelo ondulatório.
- Os alunos devem reconhecer as diferenças entre os modelos e perceber as limitações e os domínios de aplicação de cada modelo.

Conteúdos:

- Modelo corpuscular de Newton.
- Modelo ondulatório.

Materiais e recursos:

OBS: os alunos devem trazer como tarefa realizada extraclasse uma pequena pesquisa sobre o tema: modelo corpuscular e modelo ondulatório.

- Laser e um anteparo com duas fendas (experimento simples de dupla fenda).
- Uma lata de tinta spray e um anteparo com duas fendas (analogia ao experimento de dupla fenda).

Momentos:

- O professor retoma os resultados da aula anterior solicitando que os alunos consultem as anotações que fizeram quando observaram o comportamento da luz no espelho, no semiespelho e no anteparo opaco e consultem também a pesquisa que realizaram em casa.
- O professor divide a classe em dois grupos: “grupo onda” e “grupo partícula” e promove um debate entre os dois grupos propondo que: o grupo ondas tente explicar os fenômenos observados na aula anterior com o modelo ondulatório e o grupo partícula com o modelo corpuscular.
OBS: é essencial que os alunos tenham feito anteriormente em casa uma pesquisa sobre o modelo ondulatório e o modelo corpuscular.
- O professor sistematiza as discussões na lousa e mostra que o modelo corpuscular (de Newton) apresenta limitações para explicar o fenômeno de refração e de interferência.
- O professor mostra o comportamento das partículas de tinta no experimento análogo de dupla fenda realizado com tinta spray e contrapõe esse ao experimento de dupla fenda com laser (aparecimento de um padrão de interferência) salientando que o fenômeno de interferência não pode ser explicado com o modelo corpuscular.
OBS: como alternativa ao experimento com o spray pode-se utilizar também um tabuleiro de Galton com duas fendas.

Bloco temático: Montando e ajustando o interferômetro de Mach-Zehnder

Informações gerais sobre o bloco:

No segundo episódio temático o conteúdo central das aulas é a montagem, ajuste e observação do interferômetro de Mach-Zehnder.

Neste bloco de aulas os alunos devem perceber que as observações em física são imediatas. Fazemos hipóteses a priori.

Aulas 5 e 6: (observar o interferômetro de Mach-Zehnder clássico e real)

Objetivos:

- Montar o interferômetro de Mach-Zehnder.
- Observar os padrões de interferência (complementares).
- Adquirir habilidade experimental (ajuste no interferômetro).

Conteúdos:

- O interferômetro de Mach-Zehnder (trabalhar dois grupos: MZ real clássico e simulação do MZ).

Materiais e recursos:

- Apresentação (nascimento do interferômetro de MZ).
- KIT interferômetro de Mach-Zehnder real clássico.
- Simulação do interferômetro de MZ (software da universidade de Munique).

Momentos:

- - O professor apresenta brevemente o interferômetro de MZ e conta um pouco de sua história e de origem (a partir de um arranjo experimental do interferômetro de Jamin).
- O professor divide a classe em dois grupos: um grupo vai trabalhar com o interferômetro real clássico e o outro com o interferômetro virtual (no laboratório de informática).

Para o grupo que vai trabalhar com o interferômetro real clássico:

- O professor apresenta o interferômetro de MZ real clássico e salienta a formação de padrões de interferência complementares chamando a atenção para a validade do modelo ondulatório como modelo adequado para explicar o comportamento da luz.
- O professor desmonta o interferômetro e propõe que os alunos em grupo montem e ajustem o aparelho de modo a obterem padrões de interferência semelhantes aos observados anteriormente.
- O professor pede que os alunos desenhem o esquema do interferômetro numa folha de papel e proponham uma explicação para o aparecimento de interferência baseada no modelo ondulatório.

Para o grupo que vai trabalhar com o interferômetro virtual:

- Simulação do interferômetro (software livre).

Bloco temático: Transformando o interferômetro de Mach-Zehnder real clássico em um interferômetro ideal

Aula 7: (modelando o interferômetro de MZ)

Objetivos:

- Os alunos devem ser capazes de perceber e listar os fatores que devem ser desconsiderados e os que precisam ser considerados no processo de modelagem do interferômetro de MZ (transformação do interferômetro real clássico em um interferômetro ideal).

Conteúdos:

- Modelagem do interferômetro de MZ
- Laser

Materiais e recursos:

- KIT interferômetro de MZ real clássico.
- Apresentação data-show (esquema do interferômetro de MZ ideal clássico).
- Guia para relatório.

Momentos:

- O professor apresenta novamente o interferômetro real e o interferômetro esquematizado e propõe uma discussão entre os alunos visando levantar suas argumentações sobre o processo de modelagem do interferômetro (o que é espelho, semi-espelho ideal, o que significa que o interferômetro está ajustado, a necessidade de uma fonte laser, etc.).
- Os alunos trabalham em grupos completando o guia para o relatório.

Aula 8: (a matemática do interferômetro de MZ)

Objetivos:

- Os alunos devem compreender o funcionamento do interferômetro de MZ e do modelo ondulatório para a luz a partir de uma modelagem matemática do fenômeno.

Conteúdos:

- Modelagem matemática do interferômetro de MZ.

Materiais e recursos:

- Apresentação data-show (como funciona o interferômetro de MZ).
- Roteiro de trabalho (como funciona o interferômetro de MZ).

Momentos:

- O professor apresenta a modelagem matemática do interferômetro.
- Os alunos trabalham em grupos completando a folha de trabalho.

Bloco temático: Transformando o interferômetro de Mach-Zehnder clássico em um interferômetro quântico

Aula 9: (construindo um interferômetro quântico)

Objetivos:

- Os alunos devem ser capazes de perceber e listar os fatores que devem ser desconsiderados e os que precisam ser considerados no processo de transformação do interferômetro ideal clássico em um interferômetro ideal quântico (exemplificando: o feixe luminoso deve ser tênue o suficiente para que somente um único fóton de cada vez percorra o interferômetro, os anteparos devem ser substituídos por detectores sensíveis o suficiente para registrar o fóton, etc.).

Conteúdos:

- Interferômetro de MZ quântico.
- Dualidade onda-partícula.

Materiais e recursos:

- Apresentação data-show (como funciona o interferômetro de MZ quântico).
- Roteiro de trabalho (como funciona o interferômetro de MZ quântico).

Momentos:

- O professor retoma o esquema do interferômetro de MZ ideal clássico e discute com os alunos a transformação do interferômetro clássico em interferômetro quântico.
- O professor incentiva os alunos a perceberem o comportamento “estranho” do fóton e a problemática da dualidade onda-partícula.
- Os alunos trabalham em grupos completando o roteiro de trabalho.

Aula 10: (interpretações da mecânica quântica)

Objetivos:

- Os alunos devem conhecer quatro interpretações para o comportamento do fóton no interferômetro de MZ.
- Os alunos devem perceber que nenhuma das quatro interpretações explica o comportamento do fóton de forma completamente satisfatória.
- Os alunos devem reconhecer que, embora não exista uma interpretação completamente satisfatória para o comportamento dual dos objetos quânticos, a teoria quântica é a teoria física mais bem-sucedida desenvolvida até hoje pelos físicos e que essa teoria não só fornece previsões experimentais corretas como também possui aplicações práticas.

Conteúdos:

- Interpretações para o comportamento do fóton no interferômetro de MZ (interpretação corpuscular, ondulatória, dualista-realista, complementaridade).

Materiais e recursos:

- Apresentação data-show.
- Momentos:
 - O professor apresenta as diferentes interpretações.
 - O professor promove um debate entre os alunos. Os alunos trabalham em grupos e cada grupo deve defender uma das quatro interpretações apresentadas.
 - O professor sistematiza a aula, salientando que nenhuma das interpretações é totalmente satisfatória para explicar completamente o comportamento do fóton no interferômetro.

Aula 11: O sentido das coisas

Objetivos:

- Discutir a natureza da ciência e da realidade física (nova visão de mundo da física quântica).

Conteúdos:

- Natureza da ciência e noção de realidade na física.

Materiais e recursos: questionário da sequência proposta por Brockington (recurso de ensino 3)

Momentos:

- O professor promove o debate, iniciando a discussão a partir das hipóteses dos alunos a respeito do que observaram na sala.
- O professor sistematiza a sequência de aulas, retomando a discussão da primeira aula (o universo físico).

ANEXO B

TRANSCRIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES DA AULA 2

Momento 1: Organização da aula, lembrança das aulas anteriores e introdução da atividade

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
01	Prof.: No nosso último encontro, é, nós respondemos a algumas questões. Olha, pessoal, eu vou contar com a colaboração, caso contrário nós sentaremos em ordem numérica, certo Joe? Então, no nosso último encontro a gente respondeu algumas questões sobre o efeito fotoelétrico, e aí ao invés da gente já trazer as respostas direto daquelas questões, nós vamos fazer uma pequena passagem, ou a gente pode pular isso também, porque acho que vocês já tão "experts".				
02	Nicolau: Por favor não				
03	Prof.: Quando vocês quiserem a gente começa, ou se não quiserem eu já fiz chamada podem ir. Nicolau tudo em aí? Bom então vamos supor que todos vocês entenderam eu vou passar rapidamente pela apresentação, se alguém tiver dúvida pára, se não tiver dúvida a gente vai em frente, ao final dessa aula eu passo uma outra sequência de exercícios pra vocês, ok? Muito bem. Então, o que nós faremos nessa aula é... a gente revisar o que a gente estudou ao longo desse ano pra gente chegar até o efeito fotoelétrico, tá? Tá dando pra ler aí? É que a gente não pode apagar completamente se não a câmera não consegue filmar vocês, tá. O que ficar muito em dúvida, num momento que precisar ficar mais claro a gente apaga nesse momento. Então, o que a gente viu até agora?				
04	Luis: Não dá pra enxergar...				
05	Prof.: Calma que eu leio.				
06	A3 (não identificado): Apaga a luz.				
07	Prof.: Vou repetir que você não prestou atenção, a gente não pode apagar a luz porque se apagar a luz a câmera não consegue filmar vocês no escuro, então quando for necessário a gente apaga pra visão específica do quadro que for necessário, se não a gente vai ler com vocês. O Joe, faz uma gentileza pra mim senta na bancada ou pode sair. Mais alguém? Então, nós vimos um pouquinho de modelos, quando a gente discutiu modelo a gente discutiu os modelos que a física usa pra explicar a natureza das coisas, onda ou partícula, a gente verificou as propriedades elétricas e magnéticas da matéria. Quando a gente começou a estudar essas propriedades elétricas e magnéticas a gente falou então e discutiu um pouquinho sobre a indução de campos, particularmente campo elétrico e campo magnético. Depois a gente começou a estudar ondas, e aí a gente foi ver as propriedades das ondas, o que definia uma onda, quais as características que uma onda apresenta, a gente estudou depois luz, depois de luz a gente foi verificar os espectros, e aí a gente se deparou com dois tipos de espectros, contínuos e discretos, e pra explicar o modelo... pra explicar os espectros discretos a gente foi então fazer uso do modelo atômico de Bohr. E aí nas duas últimas aulas a gente tá conversando um pouquinho sobre o efeito fotoelétrico. Pra verificar se a gente tá lembrando as coisas vamos dar uma pequena passadinha por esses diversos tópicos. Então a gente quer chegar na discussão de dualidade onda-partícula, e pra chegar a isso a gente começou discutindo o que são ondas,				

	certo? Então, o que definia, o que caracterizava pra gente onda? Uma onda transporta energia, sem que haja transporte de matéria, ela não é... ela se espalha, não tá bem localizada. E a gente tem dois fenômenos bastante associados às ondas que são os fenômenos da sobreposição de ondas e de interferência.				
08	A4 (não identificado): Você vai dar uma provinha?				

Momento 2: Retomada e discussão de conceitos e fenômenos ópticos:
(interferência, efeito fotoelétrico, interferência)

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
09	Prof.: Não. Ok? Diferentemente em partículas o que a gente tem? Partículas eu posso localizar, posso saber a posição dela em cada instante, e eu posso observar a sua trajetória. Também transporta energia, correto? Então ondas e partículas são duas maneiras diferentes e excludentes da gente explicar a natureza. E aí é onde estão as duas principais diferenças, no caso aí a localização, a partícula tá sempre bem localizada, eu consigo dizer onde ela se encontra, e nas ondas eu tenho o fenômeno da interferência, certo? Bom, aí a gente estudou essas propriedades. Quando a gente começou a estudar a luz, pois não Priscila. Fala pra classe. Quando a gente começou a estudar a luz, que a gente foi estudar a questão da visão, da cor, a gente começou a estudar o espectroscópio, a gente foi caminhando pra ideia de que a luz é uma onda, onda eletromagnética. Então a gente foi observando ao longo das aulas, foi observando nos experimentos, nas experiências que nós fomos fazendo a gente foi concluindo que a luz é uma onda. Tudo bem até aí? Tá muito rápido? Bom, aí quando nós começamos a observar os espectros nos espectroscópios a gente se deparou com dois tipos de espectro, contínuo e discreto. Fala aí Teresa o que é um espectro contínuo?	1, está retomando conceitos anteriores em uma revisão. Pergunta objetiva sobre o que é aquele conceito.	O que é um espectro contínuo?	Pergunta de sistematização	
10	Teresa: Não sei				
11	Prof.: Dá um exemplo.				
12	Teresa: Aquele que a gente viu na apostila da luz que passa pelo prisma				Classificação de informações
13	Prof.: Que luz?	Procura que a aluna explique melhor o exemplo.	Que tipo luz você se refere?	Pergunta de sistematização.	
14	Teresa: A luz normal.				Organização de informações.
15	Prof.: Que luz que é normal? Essa luz é normal e essa é anormal?	Apenas faz uma anedota.			
16	Teresa: Ah.. não sei professor.				
17	Prof.: Fala aí Cristina, e sem resmungar.				
18	Cristina: Não sei.				
19	Prof.: Sabe Priscila? Fala Clara. Dá um exemplo de espectro contínuo.				
20	Clara: O arco íris.				Seriação de informações.
21	Prof.: O arco íris. Porque que é contínuo?	Retomando conceitos. Busca uma explicação da aluna sobre a continuidade do arcoíris	Porque o arcoíris tem um espectro de luz contínuo?	Pergunta de sistematização	

22	Clara: Porque é uma sequência. Você não tem um “buraco” sem... luz. Fica tudo junto, vai passando gradualmente de uma cor pra outra.				Justificativa.
23	Prof.: Não tem o que Gilberto?	Quer saber o que o aluno disse.			
24	Gilberto: Não, é que nesse não tem interferência.				justificativa
25	Prof.: Interferência do que?	Quer que o aluno se expresse melhor			
26	Gilberto: Do espectro contínuo....				
27	Prof.: Mas a gente viu que interferência é outra coisa.				
28	José: É discreto porque não tem todas as cores.				Levantamento de hipótese.
29	Prof.: Calma nós vamos chegar lá. Primeiro vamos lá, contínuo ta claro pra todo mundo? Ta, quando você tem lá uma faixa de radiação em que você tem todos os valores possíveis ali, a gente não consegue distinguir quando passa de um valor pra outro, aí o exemplo que a Clara deu foi do arco íris, a gente vê a decomposição das cores, certo? Como tá lá no desenho, passa luz branca pelo prisma e aí do outro lado a gente têm a decomposição da luz branca em todas as cores possíveis, certo? Tudo bem? Tá, e o discreto?	Retomando conceitos. Busca explicação do que seja um espectro discreto.	O que é um espectro discreto de luz?	Pergunta de sistematização	
30	Augusto: [inaudível]				
31	Prof.: Quando você tem algumas cores, não é isso? Você tem brancas ou linhas e você tem outros valores que não.				
32	A11 (não identificado): Quando você tem uma radiação que não tem todas as cores, aí você consegue ver quando passa de uma cor pra outra.				Explicação.
33	Prof.: Tá fala. isso? E aí a gente tem alguns exemplos que a gente observou lá da luz vinda de alguns lugares. E a gente tinha visto lá também a diferença entre espectro de emissão e de absorção, né? Bom, aí surge esse fenômeno que a gente discutiu nas duas ultimas aulas que é o efeito fotoelétrico. O que é efeito fotoelétrico Virgínia? O desenho ajuda vocês olha... o que tá acontecendo?	*retomando conceitos. Invoca o desenho para responder a algo que eles já viram. Requer observação sobre o fenômeno.	*O que é o efeito fotoelétrico? De acordo com o desenho o que acontece no efeito fotoelétrico?	*Pergunta de sistematização Perguntas sobre dados	
34	Luis: A luz tá batendo numa placa de metal e no metal tá tendo emissão de elétrons.. é.. acho que é elétrons mesmo.				Explicação
35	Prof.: Tá, então eu faço incidir no metal um feixe de luz, quando a luz bate nesse metal alguns elétrons são emitidos				
36	Gilberto: Mas na explicação professor dependendo da luz batia e ia elétrons, dependendo da luz batia e não ia elétrons				Justificativa
37	Prof.: Muito bem. Mas o fenômeno em si é a emissão dos elétrons, certo? Tudo bem até aí? Duvida até aí?	Verificando o entendimento			
38	Clara: Mas você incidi luz no metal e do metal saem os elétrons?				Organização de informações.
39	Prof.: Isso.				
40	Rubens: Professor...				
41	Prof.: Fala Rubens.				
42	Rubens: Tem como descobrir se vai emitir ou não sem fazer o teste?	A pergunta do aluno	É possível descobrir se há ou não emissão sem verificar na prática?	Pergunta de problematização	
43	Prof.: Como assim?				
44	Rubens: Tem alguma outra forma de saber se a luz vai emitir ou não elétrons, antes de colocar a luz naquele metal, tem como eu saber se vai emitir?	Reformula a pergunta	É possível descobrir se há ou não emissão	Pergunta de problematização	

			sem verificar na prática?		
45	Prof.: Não. Pra você saber se é efeito fotoelétrico o que você precisa saber, se o elétron vai ser arrancado de lá quando incide luz, então o que você faz primeiro, você mede pra ver se tá tendo emissão sem a luz, aí se tiver emissão sem a luz não é efeito fotoelétrico, lembra que a gente viu? São outras..Ah?				Explicação
46	Patrícia: Depois que sai o elétron do metal o que acontece?				Organização de informações.
47	Prof.: O que ele fez aqui? Que ele mostrou lá o equipamento naquela simulação que tinha o Einstein falando? Ele colocou um amperímetro ali e mediu a passagem de corrente elétrica, não é isso? Então ele vai verificar se tem ou não, aí ele até colocou uma situação, a gente mediu alguma coisa com a fonte desligada porque?	Retoma um detalhe experimental da montagem	No experimento tivemos que medir a corrente com a fonte de luz desligada por quê?	Pergunta exploratória sobre processo.	
48	A18 (não identificado): Tinha luz ambiente.				Explicação
50	Prof.: Tinha luz ambiente, então pra eu saber se é efeito fotoelétrico ou não o que eu faço, deixo completamente no escuro, sem incidência de luz nenhuma e verifico se tem emissão ou não, se houver emissão essa emissão não é devido ao efeito fotoelétrico. Tá?				
51	Rubens: Antes de eu fazer o experimento, eu sei que daqui a 10min eu vou lá por o metal na luz, eu quero saber antes de eu fazer isso tem como eu fazer um cálculo ou algo do tipo, alguma coisa pra saber se quando eu colocar vai emitir ou não?	Aluno retoma a pergunta	É possível descobrir se há ou não emissão sem verificar na prática?	Pergunta de problematização	
52	Prof.: Tem. O que vocês fizeram nos dois últimos exercícios? Vocês fizeram os cálculos, pra calcular o que?	Responde ao aluno	Nos exercícios, qual era nosso objetivo ao fazer os cálculos?	Pergunta exploratória de processo	
53	Cristina: A energia.				explicação
54	Prof.: A energia necessária pra isso acontecer. Só? Saber qual a energia necessária pra isso acontecer não é suficiente? Oi?				
55	Patrícia: Pra que serve isso aí?				
56	Prof.: Pra que serve o que?	Busca entender a pergunta do aluno			
57	Patrícia: Aonde isso é usado?	A aluna deseja saber uma aplicação do fenômeno.	Em que situações o efeito fotoelétrico é usado?	Pergunta de sistematização.	
58	Prof.: Ah... você quer um exemplo técnico de onde é usado isso... fotocélula, pra acender a lâmpada a noite, sensor de elevador.				
59	Patrícia: Gera energia elétrica isso?				previsão
60	Prof.: É, o que você fez, você provocou uma corrente elétrica aqui. Bom. Então o que acontecia na virada do séc. XIX pro séc. XX, os cientistas achavam que a gente já... os grandes problemas da ciência já estavam resolvidos, e que existiam alguns detalhes, algumas pequenas coisas que eram questão de ajuste. Achava-se que, é... caminhava-se pro conhecimento completo, mas aí tinham dois "pequenos" problemas, reparem que pequenos está entre aspas, não são tão pequenos assim, que era a questão das ondas eletromagnéticas, pois não Luis. É eu vi que você tava conversando com ela. E uma outra situação que acontecia era a questão do espectro de radiação, e a relação entre espectro de radiação e temperatura,				

	lembrando que naquele tempo a indústria de base principal, era a indústria siderúrgica, metalúrgica e aí o que aconteceu, observava-se lá quando is colocar um metal pra fundir que esse metal tinha radiação, certo? E aí começa a surgir então a partir... oi				
61	Patrícia: O que é aquilo?				

Momento 3 – Investigando situações clássicas (luz sob ação da gravidade, interferência, efeito fotoelétrico, reflexão) para aplicar um modelo explicativo.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
62	Prof.: Ah... aquilo é só foto da época. Tudo bem? Então a mecânica quântica vai surgir a partir, a mecânica quântica então começa a surgir a partir dessa, do estudo dessa radiação quando os corpos eram aquecidos. Um físico chamado Max Planck vai conseguir determinar qual é... vai chegar matematicamente à observação dessa curva dos espectros de radiação e aí vem o que a gente já discutiu um pouquinho nas últimas aulas a questão de ser... de que os valores de energia são discretos, dependem da constante de Planck e tal... bom, mas voltemos a nossa questão primeira, lá de fevereiro, que afinal é a luz. Continua a pergunta, é onda ou é partícula? (12)	Refaz a pergunta central da investigação	A luz é onda ou partícula?	Perguntas de problematização	
63	Patrícia: Não dá pra ser as duas?				Levantamento de hipóteses
64	Prof.: Ah?				
65	Patrícia: Não dá pra ser as duas?				Levantamento de hipóteses
66	Prof.: Calma, pra gente discutir isso, se dá ou não pra saber a gente vai pensar em quatro situações.				
67	Gilberto: Professor a luz não pode ser partícula com propriedades de onda?				Levantamento de hipóteses
68	Prof.: Guarda essa sua pergunta pra gente discutir.				
69	Eduardo: Qual a pergunta dele?				
70	Prof.: Ele tá dizendo assim, olha uma partícula pode ter propriedades de onda?				
71	Eduardo: É isso que eu to pensando, uma bolinha, sabe?				Levantamento de hipóteses
72	Prof.: Guarda essa sua representação também.				
73	Gilberto: Eu tava conversando que pode ser uma onda com propriedade de partícula, uma partícula com propriedade de onda.				Levantamento de hipótese
74	Gilberto.: Anota, vamos discutir isso. Mas antes da gente chegar a essa discussão vamos pensar em quatro situações relacionadas a luz e vamos tentar então responder a essas situações pensando na luz como onda ou como partícula. A primeira situação então, a gente pensa em uma luz emitida por uma fonte que ta se propagando no espaço, se a luz for uma onda ela se espalha pelo espaço, certo? Se a gente pensar num feixe de luz e esse feixe de luz for partícula imaginemos então... o Gilberto você quer falar coma sala? Então se a gente pensar na luz como sendo onda ela vai se espalhar pelo espaço, se a gente pensar num feixe de luz e essa luz... é como sendo partícula, supondo que a gente aqui na sala emitisse um raio de luz paralelo a tangente aqui, paralelo ao nosso chão, o que vai acontecer com esse feixe	Problematiza uma situação hipotética para que os alunos criem hipóteses sobre como a luz se comportaria em uma dada situação se ela fosse partícula.	Se emitirmos um raio de luz reto o que acontecerá com ele se ele for partícula?	Pergunta de problematização	

	de luz se ele for partícula?(13) Guilherme acorda por favor! E aí? O que deve acontecer?				
75	Av:[inaudível]				
76	Prof.: Se eu jogar uma bolinha daqui pro final da sala o que vai acontecer?	Criou uma relação concreta para o problema levantado	Se eu jogar uma bolinha reta daqui para o fim da sala o que acontecerá com ela?	Pergunta de problematização	
78	Gilberto:Ela vai descrever..				
79	Ptof.: Vai descrever...				
80	Gilberto: Uma parábola.				Previsão
81	Prof.: Por que?(15)	Busca uma explicação para a hipótese levantada	Por que a bolinha vai cair?	Pergunta de sistematização	
82	Gilberto: Porque você jogou e uma hora ela vai cair.				justificativa
83	Prof.: Por que?(16)	Busca uma explicação para a hipótese levantada	Por que a bolinha vai cair?	Pergunta de sistematização	
84	Gilberto:Por causa da gravidade.				explicação
85	Prof.:Vai sofrer a ação da gravidade. Então se a luz for uma partícula vai sofrer a ação da gravidade.	Valida a resposta do aluno.			
86	Gilberto: Professor e se a luz for tão rápida assim...				
87	Prof.: 300.000 km/s por exemplo. O que vai acontecer? O que deveria acontecer?	Contando que a luz seja uma partícula se movendo a essa velocidade o que vai acontecer com os efeitos gravitacionais	Como seria a ação da gravidade em uma bolinha com a velocidade de 300.000km/s?	Perguntas exploratórias sobre o processo.	
88	Ademar: Uma hora ela vai perder velocidade.				Levantamento de hipótese
89	Prof.: Não, só se tiver resistência. Mas mesmo assim não tem, ela ta no espaço. Fora da atmosfera. O que vai acontecer? Posso pensar numa situação semelhante ao movimento da Lua em torno da Terra? O que vai acontecer com a luz?(18) Vai ficar em órbita não é isso? Mas se eu pegar um trecho pequeno o que vai acontecer? Eu joga daqui to mirando aqui na cabeça dela, vai cair a onda? (19)		Para uma pequena distância o que acontece com os efeitos da gravidade em uma partícula com a velocidade de 300.000km/s?	Perguntas exploratórias sobre o processo.	
90	A30 (não identificado): Na cabeça dela.				previsão
91	Prof.: Não. Vai cair exatamente onde eu mirei?			Perguntas exploratórias sobre o processo.	
92	A30 (não identificado): Não				Previsão.
93	Prof.: Tem a ação da gravidade vai cair um pouquinho né? Então e mais ou menos isso essa primeira situação. Vamos pensar então que a gente tem uma distancia de 5m da televisão até a prateleira e a gente emite então uma fonte de				

	luz daqui até a parede. Fala Julia.				
94	Patrícia: Quando você vai atirar em alguém você tem que mirar um pouco mais pra cima pra acertar.				
95	Prof.: A mira já faz isso.				
96	Patrícia: A é? A tá...				
97	Prof.: A mira fica acima do cano, ela já tá prevendo isso aí. Ma voltemos, o nosso tiro é de luz só.				
98	Av:[inaudível]				
99	Prof.: Tem um ângulo, lógico que é. Tá aqui a mira, tem um ângulo aqui, ela tá inclinada. Eu to mirando aqui, se eu me afastar dele eu vou tá mirando ainda o conjunto afasta junto. Então já tá previsto. Bom, mas voltemos ao nosso tiro de luz aqui. Então a gente tem uma distancia aí da fonte até o anteparo de 5m e pelo que vocês estavam dizendo vai ter um pequeno desvio pra baixo, certo? Vamos fazer de conta que a velocidade da luz seja 300.000 km/s e que a ação da gravidade é de 10m/s^2 , né Julia? Então a gente direcionou o feixe de luz pra cá e vai abrir uma distancia h aqui, uma altura h entre o ponto que a gente esperava e o que a ação da gravidade vai levar pra baixo, isso vai nos comprovar, se a gente fizer isso, que a luz é partícula. Pensando nessa velocidade da luz, pensando no raio terrestre, a luz demora um décimo de segundo pra dar a volta na Terra. Então em um décimo de segundo a luz dá volta na Terra cujo raio é da ordem de 6.970km. Então significa que 5m vai ser num tempo infinitamente menor. Se isso acontecesse pra gente medir dessa forma, essa distância que a gente tá querendo calcular aqui como desvio da luz seria de aproximadamente 10^{-16}m , ou seja em 5m, que é a distância que a gente tá medindo, o desvio que a luz sofreria é de 0, quinze 0 um atrás do outro 1 metro. E pra gente comparar o diâmetro de um átomo é da ordem da 10^{-10}m ou seja essa distancia que a gente espera que dê é muito menor que o diâmetro atômico, a gente não tem condição então de medir com os instrumentos que a gente possui hoje, pra gente ter uma noção, um livro com 100, 150 páginas, essa espessura tem aproximadamente essa quantidade de átomos enfileirados um atrás do outro. Então se a gente pegar um livro com aproximadamente 100 páginas essa espessura aqui tem essa quantidade de átomos, se a distância que a gente vai medir é muito menor que um único átomo pra esta nossa primeira preocupação o que a gente pode inferir? Da pra dizer que a luz é uma coisa ou outra? Eu posso afirmar que a luz é partícula? Mas posso afirmar que ela não seja? Também não. Então pra essa nossa preocupação se a luz é partícula e ela interagir com outros corpos sofrendo a ação da gravidade, sofreria um desvio e esse desvio é tão pequeno que a gente não tem instrumento pra medir. Então nessa primeira situação a gente não consegue obter informação a respeito, certo? Nessa segunda situação a luz interagindo com um espelho o que acontece? Tem um espelho aqui, emito um raio de luz o que vai acontecer com esse raio de luz?	Dada a suposição da situação 1. Não é possível medir por isso não se pode afirmar nem uma coisa nem outra. O professor explora a situação hipotética fazendo os alunos pensarem sobre as possíveis explicações Para a segunda proposta, ele coloca a situação sobre algo que os alunos já viram.	Posto que não podemos medir a queda da luz pela atração gravitacional, podemos afirmar que ela é partícula? Podemos afirmar que ela não é? O que acontece com a luz emitida em um espelho?	Perguntas exploratórias sobre processo. Pergunta de sistematização	
100	Eduardo: Vai ser refletido.				Previsão/ explicação
101	Prof.: Vai ser refletido. Qual é a condição de reflexão?(25) Tem que voltar no mesmo ângulo que incidiu, não é isso? Então a condição é manda um raio de luz pro espelho volta no mesmo ângulo, não é isso? E aí pra essa situação eu posso responder se a luz for partícula a partícula bate no espelho e é refletida, se a luz for onda bate no espelho e também é refletida. A que conclusão a gente chega?(26)	Busca uma resposta de um conceito. Expõe a situação em que a luz pode ser as duas coisas (onda e partícula) pede uma conclusão	Qual a lei da reflexão? Se a luz como onda bate no espelho e reflete e a luz como uma partícula bate no espelho e também reflete, qual	Pergunta de sistematização Pergunta de sistematização	

			a conclusão?		
102	Cristina: Nenhuma.				
103	Prof.: Pode ser onda ou partícula, certo? Terceira situação, agora eu tenho uma luz emitida por uma fonte que atravessa um anteparo que tem duas fendas, então vamos pensar numa chapinha, essa chapinha tem dois cortes, né, duas fendas e aí algo semelhante a isso aqui, certo? Então a gente tem um anteparo com duas fendas e a gente faz incidir sobre ele uma fonte de luz. O que vai acontecer? O que acontece? Aqui é uma fenda aqui é outra fenda, mesma fonte de luz, passa por aqui e aí o que vai acontecer? Se a luz bater aqui [na parte que não há fenda] o que acontece?	Problema da fenda. O que acontecerá na situação tres. Os elementos para responder a questão não são evidentes Exemplificou a questão. Para direcionar o olhar dos alunos a descartar variáveis	O que acontece quando incidimos uma luz em duas fendas? O que acontece quando a luz bate em um objeto opaco?	Pergunta de problematização Perguntas de sistematização	
104	Nicolau: Ela passa.				Previsão/ explicação
105	Prof.: Passa?	?			
106	Nicolau: Bate e volta.				explicação
107	Prof.: Bate e volta se o objeto for opaco, é isso? Se bate aqui [no vão da fenda]?(28)	idem	O que acontece quando a luz passa por uma fenda?	Perguntas de sistematização	
108	Nicolau: Passa.				explicação
109	Prof.: Passa, vai ficar aqui assim, certo? Se bate aqui [no vão da outra fenda]? Passa também, eu vou ter outra linha aqui, certo? Posso ter um pequeno desvio pra um lado ou pro outro dependendo do ângulo de incidência, não é isso? Aqui então deve ser sombra, não deve ter marca nenhuma, não é isso? Aquela região vai ser uma região de sombra.	idem	O que acontece quando a luz passa por uma fenda?	Perguntas de sistematização	
110	Augusto: Só se a luz não estiver muito inclinada.				explicação
111	Prof.: Mas se estiver muito inclinado, pensando que muita inclinação tá vindo muito pra cá o que vai acontecer, eu vou continuar com esse padrão você concorda? Eu vou ter.. isso vem mais pra cá e isso desloca mais pra cá, mas a gente espera que tenha um intervalo aqui, não é isso? Então se a luz for partícula é isso que acontece, certo? Só que o que a gente observa, agora vou ter que apagar aqui um pouquinho, então esse é o nosso experimento, a gente tem uma fonte de luz aqui, tem as duas fendas, e aí a gente tem alguma coisa parecida com isso aqui se ela for partícula, certo? Mas a gente observa algo parecido com isso aqui quando a gente faz a luz passar por um anteparo com dupla fenda. A gente conversou agora pouco que aqui no meio não deveria acontecer nada, uma região sombra, que não haveria nada ali, então no anteparo atrás naquela região ali não deveria ter nada.				
112	A36 (não identificado): Se for partícula.				Levantamento de hipótese
113	Prof.: Se for partícula. Mas a gente observa nesse ponto aqui, que é esse ponto aqui, a gente observa a presença de linhas ali, e aí a gente não consegue explicar isso como partícula, agora como onda a gente consegue explicar através de que fenômeno?	Com a figura dada de interferência pergunta qual fenômeno pode explicar aquilo. Um conceito já visto.	Qual fenômeno que explica uma figura desta?	Pergunta de sistematização	
114	Av:[inaudível]				

115	Prof.: Mais que isso.. vão chutar todos?				
116	Alice: Interferência				explicação
117	Prof.: Interferência. Lembra disso? A gente pode ter interferência construtiva ou destrutiva, e aí quando a interferência é construtiva vai aparecer e quando é negativa as ondas se anulam. A gente observa... foi isso aqui que a gente viu quando a gente fez a observação aqui na parede, que a gente colocou um feixe de luz passando por uma rede de difração e aí o que a gente observou foram esses pontos aqui, isso aqui é foto tirada aqui na sala de aula. Bom, com essa terceira observação o que a gente conclui até agora?	Unindo a observação de que a luz se comporta como onda em uma dupla fenda o professor quer que os alunos conluam por hora que a luz é onda	Se nesta montagem a luz apresentou uma natureza de onda, o que podemos concluir até agora?	Pergunta de sistematização	
118	Av:[inaudível]				
119	Prof.: Nessa situação eu só posso concluir que a luz é...				
120	Av: Onda				explicação
121	Prof.: Onda. As duas primeiras posso explicar como onda ou como partícula, aqui eu só consigo...				
122	Alice: O quarto só consegue explicar como partícula.				previsão
123	Prof.: É evidente Alice? Aí segundo a Alice o quarto a gente só consegue explicar como partícula é isso Alice? Por que eu só posso explicar o efeito fotoelétrico como sendo partícula?	Tenta buscar dos alunos um modelo que explique o efeito fotoelétrico com a luz sendo partícula	Porque eu só consigo explicar o E _{fot} com a luz sendo partícula?	Pergunta de problematização.	
124	Augusto: Porque arranca elétrons.				Levantamento de hipótese
125	Prof.: Mas arrancar elétrons eu posso arrancar como sendo onda.				
126	Rubens: Não				
127	Prof.: Por que não? Uma onda vem transfere energia, a gente não disse que uma onda transporta energia? Ela transfere energia pro elétron, o elétron recebe energia e é emitido. Posso explicar como onda, não posso?				Teste de hipótese
128	Rubens:[inaudível]				
129	Prof.: Quando eu falo em efeito fotoelétrico a gente tá falando assim efeito fotoelétrico é quando eu faço incidir numa placa metálica luz, e aí elétrons são arrancados dessa placa. Essa luz que tá incidindo eu posso explicar como onda?(34) A onda pode interagir com a matéria? Pode. Tá transportando energia? Tá. E por que a gente fala então que o efeito fotoelétrico só pode ser explicado se a luz for partícula?(36)	Refaz a pergunta problema de forma mais explicativa Refaz o problema já dizendo que a interação como onda é possível. Necessita-se de uma hipótese.	Posso dizer que a luz que retira elétrons da placa metálica age como uma onda? Se luz é energia e a energia pode interagir com a matéria por que explicamos o E _{fot} com a luz sendo partícula?	Pergunta sobre dados Pergunta exploratória de processo.	
130	A42 (não identificado): [inaudível]				
131	Prof.: Não, mas transporta energia e a energia tá interagindo com a matéria. Então o que tá acontecendo? Fala aí Clara. Qual é sua explicação pra isso. Vamos pensar juntos. O que a mecânica clássica previa pra questão da onda, tá certo? Então olha, eu tenho a luz arrancando elétrons de uma superfície metálica, certo? E aí o que a gente esperava?	Retoma a simulação para verificar as possibilidades da luz ser	Esperavam os jogar uma luz com maior intensidade e ter um	Perguntas sobre dados	

	Quanto mais intensa for a luz maior a velocidade do elétron emitido, ou seja quanto maior for a intensidade da luz maior a energia do elétron que tá saindo. Isso acontece?	onda ou partícula no E _{ph} .	eletron com maior intensidade, isso aconteceu?		
132	Av: Não				Organização de informações
133	Prof.: O que a gente viu lá na simulação, o que acontecia?		O que observamos na simulação quando aumentamos a intensidade da luz?	Pergunta sobre dados.	
134	A43: Dependia da frequência da luz.				Organização de informações.
135	Prof.: Não, mas com relação a intensidade. O que acontecia lá com os elétrons que ficavam correndo, que chegavam na plaquinha de chegada.				
136	Luis: [inaudível]				
137	Prof.: Não, quando aumentava a intensidade o que acontecia?	Refaz a pergunta	O que observamos na simulação quando aumentamos a intensidade da luz?	Pergunta sobre dados.	
138	Nicolau: não acontecia nada.				Organização de informações.
139	Prof.: O que mudava?	Refina a pergunta para uma especificidade da simulação	O que mudava nos eletrons quando aumentávamos a intensidade da luz?	Pergunta sobre dados.	
140	Nicolau: Nada.				Organização de informações.
141	Eduardo: [inaudível]				
142	Prof.: Não, isso é o que eu era previsto. Mudava a velocidade, e não muda, e o que a gente via lá, quando a gente mudou lá na simulação o que aconteceu com os elétrons?	Refaz a pergunta refinada	O que mudava nos eletrons quando aumentávamos a intensidade da luz?	Pergunta sobre dados.	
143	Eduardo: Eles não chegavam mais lá				Organização de informações.
144	Prof.: Não, os que conseguiam chegar.				
145	Eduardo: Ia mais rápido.				
146	Prof.: Não, ia mais rápido era o previsto. Se eu aumento a intensidade da luz o que acontece? Fala. O que acontece classe?	Refaz a pergunta novamente	O que mudava nos eletrons quando aumentávamos a intensidade da luz?	Pergunta sobre dados.	
147	A46 (não identificado): [inaudível]				
148	Prof.: Não, a intensidade é pra falar se é mais forte ou mais fraco.				
149	Cristina: O número de elétrons?				

150	Prof.: O numero de elétrons? A quantidade. Então olha, o esperado era assim, eu aumento a intensidade, aumenta a energia cinética do elétron emitido. Isso é o que era previsto, no entanto o que acontece de fato, eu aumento a intensidade e tenho mais elétrons, lembrando lá da simulação o elétron tava correndo e chegava lá na linha de chegada e quando a gente aumentava a intensidade mais elétrons chegavam, mas eles chegavam juntos, não era num tempo menor, certo? Segunda coisa, o que era esperado quando a gente tivesse uma intensidade baixa?	Retoma as relações da simulação sobre o esperado e o obtido	O que esperávamos quando a luz incidida na placa metálica fosse de baixa intensidade?	Pergunta exploratória sobre o processo.	
151	Eduardo: Que não emitiria.				Organização de informações.
152	Prof.: Não. Eu tenho energia suficiente pra arrancar, só que a intensidade da luz é baixa, o que a gente esperava? Que ele ia ficar um tempo antes de ser emitido, porque ele precisava armazenar essa energia. Então quando a gente mandasse uma luz com intensidade fraca o elétron ia precisar de um tempo, nesse tempo ele ia estar absorvendo até que essa energia fosse suficiente pra ele ser arrancado, certo? Acontece isso? O que a gente viu quando fez a simulação?	Refina a pergunta, relação causal Retoma a simulação para verificar o que aconteceu.	Com a luz emitida com energia suficiente para arrancar eletrons mas com baixa intensidade, o que esperávamos? Nós observamos na simulação que o eletron espera um tempo antes de ser emitido?	Pergunta exploratória sobre o processo. Pergunta sobre dados	
153	Augusto: Os elétrons pegavam e já saiam.				Organização de informações./ previsão
154	Prof.: Isso, no exato momento em que você tinha a incidência a emissão é instantânea, tá? Então, incidiu a luz emissão instantânea, não teve esse tempo de espera. Vamos pensar aqui então. Recapitulando, primeira previsão, maior intensidade da luz, maior a energia do elétron emitido, o que a gente observa, aumentou a intensidade, aumenta a quantidade, mas a velocidade permaneça a mesma. Segunda previsão, se a intensidade for fraca o que a gente vai observar, nossa, se a intensidade for fraca deveria haver um tempo até que os elétrons comessem a ser emitidos. Então você coloca lá a luz incidindo na placa e vai esperar lá u tempo até que haja a emissão. O que a gente observa de fato é que independente da intensidade, se a energia for suficiente o elétron é emitido imediatamente. Tem mais. O que a gente percebeu lá também? A previsão dizia que de veria acontecer pra qualquer frequência de luz, e o que a gente observou nas duas simulações? Era com qualquer uma que a gente tinha elétrons arrancados? O que precisava acontecer?	Retoma a observação da simulação	De acordo com as simulações, era para qualquer frequência de luz que arrancava eletrons da placa?	Pergunta de dados.	
155	Cristina: [inaudível]				
156	Prof.: Tá associado a que?				
157	Cristina: A frequência.				explicação
158	Prof.: Então eu tenho uma frequência mínima pra isso acontecer. Acontecia mais perto de que cores?	Retomando as observações do simulador	Em que região do espectro de cores a luz incidida fazia emitir eletrons?	Pergunta sobre dados	
159	Av: Azul, vermelho.				Classificação de informações

160	Prof.: A partir do azul, não é isso? Azul, violeta, ultravioleta. No vermelho era mais raro né? Então o efeito não acontece pra todas as frequências, a gente observa mais facilmente do violeta pra frente, então quanto maior a energia mais fácil. Raul você quer falar com a classe?				
160	Raul: Já falei.				
162	Prof.: Já. Então em resumo a gente tem isso aqui. Aumentar a intensidade no modelo ondulatório significa aumentar a amplitude da onda, no modelo corpuscular eu aumento o número de fótons por unidade de tempo. Então pelo modelo corpuscular eu posso explicar o aumento da intensidade dizendo que eu tenho mais fótons que são absorvidos então eles vão arrancar mais elétrons. E a necessidade de uma frequência mínima vai ser explicada pela necessidade de que a energia do fóton tem que ser pelo menos igual a energia necessária pra retirar o elétron da superfície. Ok?				
163	Clara: [inaudível]				
164	Prof.: Não te ouvi.				
165	Clara: [inaudível]				
166	Gilberto: Clara fala mais alto.				
167	Clara: [inaudível]				
168	Prof.: o efeito fotoelétrico, posso?				
169	Clara: Não é isso que você acabou de falar?				
170	Prof.: Não, to dizendo aqui o seguinte olha, no modelo ondulatório eu to aumentando a amplitude da onda, e aí o que a gente observava tava diferente do que tava previsto.				
171	Clara: [inaudível]				

Momento 4 – Problematização: Se as duas explicações clássicas não dão conta de explicar todos os fenômenos, o que deve ser a luz?

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	Indicador de AC
172	Prof.: corpuscular é partícula, corpúsculo, tá? Então o efeito fotoelétrico explica a luz como sendo partícula. E aí vem aquelas questões que vocês apresentaram no início aula, vocês Eduardo e Luquinhas. E aí segundo o Gilberto, como que era a previsão, a luz pode ser o que?	Retoma o problema	Diante destas situações, a luz pode ser o que?	Pergunta de problematização	
173	Gilberto: Onda com propriedades de partícula ou partícula com propriedades de onda.				Levantamento de hipóteses
174	Prof.: E se segundo o modelo apresentado aqui pelo Eduardo a gente tem o que?	Explora hipótese do aluno com a sala.			
175	Eduardo: Uma bolinha vibrando.				Levantamento de hipótese
176	Prof.: Uma bolinha vibrando, uma partícula vibrando. A representação que ele tava trazendo era essa, certo? O que nós vamos discutir.				
177	Augusto: O que você acha?				
178	Prof.: Eu não acho nada. Gente, aqui tem um resumo então dos fenômenos e das explicações, possíveis ou não, pra cada um dos dois modelos. Então nesse quadrinho aqui a gente tem, né... pra esses fenômenos. Olhando pra esse quadro, a gente pode falar que a luz é uma onda?	Resume as situações expressas nas quais não se explica interiramente todos os casos com nenhum dos dois modelos.	Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é uma	Pergunta de sistematização	

			onda?		
179	Diversos: Mais ou menos.				explicação
180	Diversos: Não.				explicação
181	Prof.: Posso dizer que é uma onda? Posso?	Refaz a pergunta	idem	Pergunta de sistematização	
182	Av: Não.				explicação
183	Prof.: Se ela é onda ela explica tudo isso aqui, certo? Explica aqui? Então pode ser onda?		Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é uma onda?		
184	Diversos: Não.				Organização de informações
185	Prof.: Porque não explica esse fenômeno. Olhando pra cá, posso dizer que é partícula?	idem	Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é uma partícula?	Pergunta de sistematização	
186	Av: Não.				Organização de informações
187	Prof.: Não explicou esses dois. Posso dizer que é os dois? Essa é a discussão que a gente vai começar a fazer a partir de agora.	idem	Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é os dois?	Pergunta de problematização	
188	Av: [inaudível]				
189	Prof.: Porque assim, se os dois modelos que a gente tem explicam parte dos fenômenos, e esses dois modelos são excludentes. Eu posso dizer que é as duas coisas?	Reforça a conclusão da aula de que não se pode explicar os casos com somente um modelo, nem com os dois.	Observando as situações e as possibilidades de explicar os casos como onda ou partícula, podemos afirmar que é uma partícula?	Pergunta de problematização	
190	Teresa: Em determinada situação...				Levantamento

					de hipóteses
191	Augusto: É intermediário.				Levantamento de hipóteses
192	Prof.: Uma terceira coisa? Lembrando desde o início lá, nossa primeira discussão sobre modelo, onda e partícula são excludentes. Onda tá espalhada, partícula tá localizada, certo? Começa por aí, algo pode estar ao mesmo tempo bem localizado e espalhado? Dá pra ser ao mesmo tempo as duas coisas?	Reforça a conclusão colocando o fator do tempo e as características dos objetos físicos onda e partícula. Problematisando.	Se a luz está espalhada no espaço e a partícula está bem localizada, algo pode estar ao mesmo tempo espalhado e localizado?	Pergunta de problematização	
193	Patrícia: Depende.				Levantamento de hipótese
194	Prof.: Depende né? O que a gente tem até agora é isso aqui, interferência eu só consigo explicar como onda, efeito fotoelétrico só consigo como partícula...				
195	Gilberto: A luz não poderia ser uma exceção?			Pergunta de problematização	Levantamento de hipótese
196	Prof.: Poderia? Vamos tentar discutir juntos a luz na mecânica quântica, certo?				
197	Rubens: Deixa a luz como luz e já era.				
198	Prof.: Luz é luz e ponto né? Mas não pode ser assim. Bom gente, se sobrar tempo...				
199	Alice: Já vai tocar.				
200	Prof.: Não, nós temos 5min.				
201	Alice: 1min.				
202	Prof.: Tá bom gente, então em 1min esses são os fenômenos, reflexão, refração, difração, interferência, polarização e dispersão. E a gente tem que responder com base nas teorias corpuscular e ondulatória. Reparem, teoria corpuscular a luz é constituída por partículas ou corpúsculos que se movem em alta velocidade em linha reta. Teoria ondulatória, a luz é uma onda que se propaga do mesmo modo que a onda sonora, ou uma onda... e aí vocês têm três grandes cientistas que discutiram a natureza da luz, certo? Primeiro fenômeno, o galera, então olha, pra esse fenômeno, reflexão da luz que é o que... Quando a luz volta pro meio na qual ela tava se propagando, bate no anteparo e volta pro mesmo meio. Na teoria corpuscular...	Resume a aula e anuncia e explica o exercício.			

TRANSCRIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES DA AULA 2

1 – Introdução da aula, retoma os componentes do interferômetro, as figuras de interferência observadas e relembra o problema

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADOR DE AC
001	Gilberto: Professor.				
002	Professor: Mais alguém não me entregou ainda a atividade da última aula? Bom pessoal, presta atenção. Vocês tão recebendo uma folhinha e a gente vai agora tentar sintetizar as discussões que a fez ao longo do ano e tentar interpretar um pouquinho o que ta acontecendo de fato, ta? Pra isso a gente vai continuar explorando o nosso interferômetro, certo? Pra isso nós vamos combinar o seguinte, nós vamos tentar fazer dessa forma, vocês viram que eu tirei aí do campinho, não é avaliação, ta certo? Não é prova, nem nada, é apenas um questionário que a gente vai tentar então sintetizar as ideias. A gente vai tentar fazer da seguinte maneira, a gente vai começar a discutir e a medida que a discussão for avançando, eu vou dando um tempinho pra que vocês respondam, preencham o quadro, ta? E aí no finalzinho da aula as três ultimas questões, ta legal? Se não tiver dando certo isso, a gente faz toda a discussão e depois a gente completa a atividade. Não é pra copiar o que ta... O que vai aparecer no quadro, porque se não, não faz sentido. A gente vai conversar sobre e depois eu tiro da tela e a gente conversa, ta? Bom, na aula passada, nessa aula de hoje a gente começou a discutir um pouquinho o que a gente viu no interferômetro real e o que a gente viu na simulação. A gente vai explorar um pouquinho mais esse nosso interferômetro. Aí eu separei um pouquinho algumas imagens do nosso interferômetro. Então, já ta identificado. Então, os semiespelhos, que na verdade são vidros, né? A gente pode imaginar o semiespelho como sendo quando a gente olha pela janela ao entardecer ou então quando a gente olha pela manhã a gente, às vezes a gente enxerga nosso reflexo no espelho, mas também a gente enxerga o que ta lá do outro lado, ta? Tudo bem? Então, os dois semiespelhos e os dois espelhos. Foi esse o arranjo que a gente tem. Agora tem aí a imagem do que a gente... Ta bom, se fechar tudo fica muito escuro e a gente não consegue ver. Bom, aí eu separei então duas imagens, uma do interferômetro real e a outra do simulador, certo? Foi isso que a gente observou, certo? Foi isso que você viu, Clara?	Mostando a figura de interferência confere a visualização dos alunos	Foi esta figura de interferência que observamos quando fizemos o experimento?	Pergunta sobre dados	
003	Alice: Não.				
004	Professor: Alguém enxergou uma figura parecida com essa do real?	Verificando se houve semelhança entre o observado e a figura exposta	Alguém observou esta figura de interferência na montagem?	Pergunta sobre dados	
005	Priscila: Não.				
006	Professor: Ninguém?				

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
007	Alunos: Não.				
008	Professor: Nem naquela outra experiência que a gente usou só um laser e um tecido como rede de difração?	Refina a pergunta especificando a experiência	Vocês enxergaram essa figura de interferência na experiência com o laser e o tecido?	Pergunta sobre dados	
009	Lúcia: Sim... Eu.				
010	Professor: Que a gente projetou lá na parede ou no quadro? (03:55)				
011	Breton: Era assim, desse jeito				Seriação
012	Professor: Era assim que tava? Ah, tirei. Não, é que eu ia apresentar pra vocês tinha uma outra imagem. Fala, Breton.				
013	Breton: Era tipo... Um monte. Um monte não, não sei...				Organização
014	Professor: Uma do lado da outra, não é isso?				
015	Breton: É.				
016	Professor: É que eu tirei a foto daqui agora, ta no outro computador. A outra possibilidade, tinha uma outra foto, ao invés da gente enxergar dessa forma, a gente enxergava mais ou menos isso aqui, como disse o Nicolau (04:31) Também a gente tinha essa observação...(?) Bom, aí lá na nossa experiência, pedi pra que vocês identificassem. Era essa identificação que a gente tinha. E foi pedido pra vocês desenharem aí como é que era o caminho que tava sendo percorrido pela luz. E aí a simulação mostrava pra vocês como duas frentes de onda, certo? Aí a pergunta feita, não ta no textinho, não ta no roteiro, a gente colocou um anteparo aqui, certo? Se a gente colocasse o anteparo aqui, deste outro lado, o que a gente deveria ver? Qual a relação com essas duas figuras?	Retomando a atividade da aula anterior, traça as relações da luz quando se colocava um anteparo.	Quando mudamos a posição do anteparo para o outro lado (aqui) o que observávamos?	Pergunta sobre dados	
017	Márcia: (05:38) Complementar				Classificação
018	Professor: Como assim?				
019	Márcia: (05:41) Por exemplo, seria assim , numa o centro seria claro e teria as listras e na outra é ao contrário, o centro preto e as listras ao contrário.				Levantamento de hipóteses
020	Professor: Como que é, Eduardo? Fala alto pra classe ouvir.				
021	Eduardo: Se a gente colocasse o anteparo aqui e não aqui , seria o inverso do que a gente viu.				Levantamento de hipóteses
022	Alunos como assim? [inaudível]				
023	Eduardo:: seria o inverso do que a gente viu				
024	Professor: Todo mundo acha que é isso? Todo mundo acha que é a mesma coisa? E alguém sabe explicar por quê? Então olha, vamos imaginar... O que vocês tão me dizendo é isso, num anteparo a gente observa alguma coisa parecida com isso, certo? No outro, a gente vai enxergar o contrário, não é isso? [mostra uma folha e gesticula, apontando as diferenças] Elas seriam complementares porque se a gente juntasse as figuras, veria o quê? (07:20)	Constroi uma ideia de complementaridade com as figuras de interferência. Complementaridade como aquelas que se complementam	O que veríamos se juntássemos as duas figuras?	Perguntas sobre dados	

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
025	Nicolau: Um círculo				Levanta mento de hipótes es
026	Professor: É isso. Ao invés de ver várias figuras, veria um círculo. Aí, agora a pergunta... Joe! Alguém consegue me explicar porque isso? [inaudível] Mas por quê? Dá pra explicar por quê?	Tenta buscar as causas da inversão de linhas de interferência com a mudança do anteparo	Como conseguimos explicar a mudança das franjas de interferência quando mudamos o anteparo?	Pergunta de problematizaçã o	
027	Nicolau: [inaudível] Eu consigo explicar o que é, mas porquê eu não sei.				O.E.: Definiç ão
028	Professor: Não, nós não chegamos neste ponto ainda. [refere-se à explicação do que é o fenômeno] (07:57)				
029	Gilberto: [quase inaudível, tentando explicar o que está acontecendo] é igual aquela experiência que a gente batia o dedo na água e fazia umas ondas, elas se aumentavam, aumentava não, elas ficavam juntas [entrelaça os dedos das mãos] só que eu esqueci o nome do fenômeno				Justific ativa O.E.: Apelo a exempl o
030	Professor: interferência de ondas?				
031	Gilberto: É, acho que é. Só que faz mil e anos, tá ligado.				

2 – Exploração do fenômeno de interferência da experiência tanto para a luz quanto para os fótons individuais comparando as figuras formadas.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
032	Professor: Pessoal, a gente tá dizendo aqui oh... A gente tá observando nesse ponto a interferência das ondas, certo? E a gente enxerga aqueles pontos coloridos quando a interferência é construtiva. O que significa isso? As duas frentes de onda que estão se encontrando, estão na mesma fase, então elas se somam e você vê o ponto claro. Quando elas estão em fases opostas, a gente vê o que? A interferência é destrutiva, elas se anulam, não é isso? O que acontece desse ponto pra esse é uma inversão dessas fases, tá?				
033	Márcia: (09:00)O que você tá falando é a explicação do preto, é isso?				Explicação?
034	Professor: Ahn?				
035	Márcia: Tem inversão de fase, porque a parte que reflete no semiespelho tá ...				Explicação
036	Professor: Tá numa fase...				

037	Márcia: numa fase diferente da que parte que passou direto				Explicação O.E.: plausibilidade
038	Professor: Isso. E aí o que vai ta acontecendo? Vamos supor que a fase 1 ta vindo pra cá e a 2 pra cá, certo? [mostra no quadro] Nesse caso aqui, eu vou pegar a 1 deste, né? E vai interferir com a outra que ta aqui, não é isso? Então o que ta acontecendo é que ela ta pegando os lados simétricos, tudo bem? Bom, aí a gente mudou pra fóton, como vocês bem responderam na ultima aula, o que acontece com o padrão da figura? O resultado.	Lembrando o procedimento da experiência o professor retoma o que acontece com fotons individuais no interferômetro	Quando emitiamos fótons no interferômetro qual a observação que faziamos?	Pergunta sobre dados	
039	Gilberto: (10:00) Igual, mas pontinhos				Classificação O.E.: classificação
040	Professor: É o mesmo, não é? O que ta acontecendo só é que a gente aqui vai... Quando a gente manda com o laser forma imagem instantaneamente, não é isso? Todo o fóton... Ele vai se distribuindo, né? E dependendo da quantidade que a gente tem aí a gente vai acabar observando a linha, certo? Até aqui nenhuma novidade, né? Tudo bem aí, Guilherme? Explica essas duas figuras aí pra mim, por favor. Fala aí, Willian.				
041	Willian: O canto de lá é...				
042	Professor: O canto de lá você diz a direita de quem ta olhando?				
043	Willian: Isso... Não, a esquerda de quem ta olhando.				
044	Alunos: Inaudível				
045	Professor: Vamos chamar esse de 1 e esse de 2.				
046	Willian: Ta. O 2 é de fóton e o de cá onda				Levantamento de hipótese
047	Professor: O que eles têm de semelhante?	Compara as duas figuras de interferência com luz e fotons	Qual a semelhança entre os dois resultados (imagens)?	Pergunta sobre dados	
048	Willian: O desenho...				Organização O.E. Indução
049	Professor: A imagem? Ta... E o que vai ter de diferente?	Compara as duas figuras de interferência com luz e fotons	Qual a diferença entre estes dois resultados (imagens)	Pergunta sobre dados	
050	Willian: É como se forma.				Classificação O.E.: Causalidade
051	Professor: É o que?				
052	Gilberto: Gradativamente, professor, conforme os fótons vão chegando. (11:25)				Teste de hipótese O.E.: Causalidade
053	Professor: dessa maneira [aponta para uma das imagens], a formação, ela é instantânea, né? E nessa aqui [aponta a outra imagem] ele vai se formando conforme vai acontecendo a chegada das partículas.				
054	Gilberto: No laser os fótons estão todos juntinhos?				Levantamento de hipótese O.E.: Causalidade

055	Professor: Não, laser a gente tem que pensar na luz sendo onda. Na verdade, ora como onda, ora como partícula. Bom, e aqui? Alice S, compare essas duas figuras.				
056	Alice: Na primeira, são circunferências concêntricas e na segunda são conjuntos de pontinhos...				Previsão O.E.: definição
057	Professor: E? Por quê?				
058	Alice: Por que...				
059	Professor: Qual a relação? Por que forma essa figura aqui e não aqui?	Explora a comparação entre a figura com e sem interferência.	Por que na montagem observamos esta figura e não esta?	Pergunta exploratória sobre o processo	
060	Alice: Porque na primeira tem interferência.				Explicação O.E.: definição
061	Gilberto: Professor!				
062	(12:28) alunos: [inaudível]				
063	Professor: Fala, Gilberto!				
064	Gilberto: Então, nos primeiros círculos as duas se encontram, os dois raios estão juntos (12:37)				Explicação O.E.: plausibilidad e
065	Professor: Pessoal!				
066	Gilberto: Enquanto que na outra figura como tem um detector ele impede a passagem de um dos caminhos de chegar no anteparo, então só tem um caminho que o fóton pode passar. Por isso, ele não forma a figura. (12:52)				Explicação O.E.: plausibilidad e
067	Professor: Tá. Então, nesse caso, não tem interferência e aqui a gente tem interferência, não é isso? Bom, agora o seguinte, o que a gente veio conversando ao longo do ano inteiro é que a física pode explicar as coisas de duas maneiras, ou como onda ou como partícula.				
068	Alice: A luz.				

3 – O problema da interferência para um único foton no interferômetro. Diante da figura de interferência para fótons individuais, o professor delimita bem a contradição entre haver interferência do elétron com ele mesmo.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
069	Professor: Não, as coisas, no geral. Pra luz, em particular, nós chegamos numa encruzilhada. Nós chegamos numa encruzilhada agora A Clara, se eu não me engano na aula passada, no finalzinho da aula, colocou exatamente qual era o nosso problema. Como é que eu explico, se eu pensar que a luz é uma partícula e o fóton é uma partícula, como é que eu explico a interferência pra um único fóton? Então, é isso que a mecânica quântica vai tentar conversar com a gente	Problematiza a explicação da interferência para um fóton único.	Como eu explico o fenômeno da interferência para um único fóton	Pergunta de problematização.	
070	Eduardo: (14:22) explicar como eles passam				
071	Professor: Não, um único. Como é que um fóton interfere com ele mesmo. [inaudível, vários alunos falam ao mesmo tempo] Não, não, peraí. Pessoal, diferente do que eles tão dizendo aqui, não é quando a gente tem assim, ah, eu tenho a luz interagindo com outra coisa, aí você tá aumentando as variáveis. Nós estamos pensando assim, olha... Foi isso que a Clara discutiu aqui na última aula. Como é que eu explico interferência para um único fóton? Ele com ele mesmo. Na nossa figurinha lá, se eu lançar apenas um único fóton, entendeu? Diferente do que a gente tinha no real, que a gente manda um feixe, a gente tá mandando milhões ao mesmo tempo e aí eu posso continuar pensando em bolinhas colidindo uma com a outra, né? Agora não, eu tenho um único E nesse único eu continuo tendo interferência.				
072	Alice: Ele se dividiu ao meio.				Levantamento de hipótese
073	Professor: Quando ele passa lá no semiespelho ele se divide em duas partes?				
074	Alice: É...				
075	Professor: Mas duas partes do que? De partícula? Duas partes de onda? Uma parte partícula outra parte onda?	Para hipótese do fóton se dividir em duas partes o professor explora quais seriam as partes desta divisão.	Se o fóton se dividiu em duas partes, o que compõe essas duas partes? Partícula? Onda? As duas coisas?	Pergunta de problematização	
076	Alice: Acho que as duas partes partícula.				Levantamento de hipótese
077	Professor: Mas aí se ele se dividir ao meio, eu deixo de ter um fóton e tenho dois. Dois meio fótons...				
078	Alice: Aí depois eles se juntam.				Levantamento de hipótese
079	Professor: Junta aqui embaixo de novo?				
080	Alice: É, os dois lados.				Previsão
081	Professor: mas como é que com eles juntos eu posso ter no anteparo dos dois lados? Aqui... Olha, a Clara tá dizendo o seguinte, aqui ele se divide, certo? Aí vem pra cá e vem pra cá. Quando chega aqui, se eles se juntam, como a Clara tá falando, eu teria que ter observação em um único anteparo, mas eu consigo medir nos dois ao mesmo tempo.	Motiva uma hipótese para a explicação do fóton se dividir e ser medido nos dois anteparos	Se as duas metades do fóton se juntam como eu posso ver nos dois anteparos?	Pergunta de problematização	
082	Márcia: (16:15) Eu estava pensando que ali no meio eles se dividem de novo...				Levantamento de hipótese
083	Professor: Meninos, por favor!				
084	Márcia: Vai passar uma parte ali e a outra vai por ali, ó [aponta a figura]				Teste de hipótese
085	Professor: Dois que vem pra cá e dois que vem pra cá?				
086	Márcia: Não sei, mas foi o que pensei.				Previsão

087	Professor: Pode ser isso, gente? Bom, aqui ele se divide em dois, metade vem pra cá e a outra metade vem pra cá. Quando chega aqui... Ou tenho quatro ou tenho dois de novo, né? Porque eu posso pegar assim, metade desse que vem pra cá com a metade desse que forma um. Aí metade vem pra cá... Eu posso ter quatro partes, mas elas são agrupadas duas aqui, duas aqui? Pode ser isso?	Professor avalia uma hipótese	O foton pode se dividir em duas partes, depois em quatro e voltar a duas?	Perguntas exploratórias de processo	
088	Nicolau: Inaudível.				
089	Professor: Continua tendo colisão. Então pode ser o que, Nicolau?				
090	Nicolau: Não sei.				
091	Professor: Eu não to dizendo que não pode, eu só to perguntando...				
092	Nicolau: (17:17) vai um pra cada lado				
093	Professor: E aí?				
094	Alice: inaudível				
095	Nicolau: um espermatozoide				Explicação
096	Alice: Não é uma célula.				
097	Professor: E aí? Como é que fica a situação? Bom, olhando pro nosso quadrinho... Oi.				
098	Alice P: (17:42) tinha [inaudível]				

4 – As quatro interpretações da mecânica quântica para a natureza da luz. Professor explora as interpretações junto com os alunos construindo o significado de cada uma.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Pergunta do professor	INDICADORES DE AC
099	Professor: Tinha também. Vamos pensar o seguinte, olhando aí pro quadrinho de vocês, ta? Existem várias interpretações pra essa situação, ta? A mecânica quântica apresenta quatro em particular. Elas são as quatro mais discutidas. Quatro possíveis pensamentos pra gente tentar entender a natureza da luz.				
100	Alice: Existem outros?				
101	Professor: Existem, mas assim, as quatro principais são essas aqui. Não é pra copiar.				
102	Márcia: Ta.				
103	Professor: Ta né? Porque eu pedi...				
104	Márcia: Eu já parei.				
105	Professor: Já tava com a caneta pronta... Vamos pensar antes da gente olhar lá o que ta escrito. A gente tem uma interpretação que recebe o nome de ondulatória. Segundo essa interpretação a luz é?	Busca dos alunos o que a interpretação ondulatória.	A interpretação da luz chamada ondulatória diz que a luz é...?	Pergunta exploratória de processo.	
106	Alunos: Onda.				Classificação
107	Professor: A gente tem uma interpretação que é a corpuscular.				
108	Gilberto: Partícula? Os fótons?				Classificação
109	Professor: São fótons. Fóton é uma partícula de luz. Existe uma interpretação... Vou pular pra ultima... Dualista.				
110	Márcia: Ora como onda e como partícula.				Elaboração de hipóteses
111	Alice: Onda e Partícula.				Elaboração de hipóteses
112	Gilberto: É onda e partícula?				Elaboração de hipóteses
113	Professor: Que ela pode ser as duas coisas ao mesmo tempo? É uma partícula que é associada com uma onda ou uma onda com uma partícula...				
114	Alunos: Inaudível.				
115	Nicolau: 19:29 Você falou que não tem como, que não pode ser onda e partícula ao mesmo tempo				

116	Professor: Então, aí cai nessa situação que o Nicolau ta falando, né?				
117	Alice: ela é uma coisa e outra.				
118	Professor: É... Pra mecânica clássica isso não é possível.				
119	Alice: Mas e em Quântica...				
120	Nicolau: Acho que é				
121	Professor: Mas em física moderna a gente vai ter que arrumar uma nova explicação e essa nova explicação então pode ser que ela seja as duas coisas ao mesmo tempo.				
122	Alice S: Acho que sim				
123	Professor: E complementaridade?	Busca dos alunos o que a interpretação ondulatória.	A interpretação da luz chamada complementaridade, deve dizer que a luz é o quê?	Pergunta exploratória de processo.	
124	Nicolau: As duas se complementam				Elaboração de hipóteses
125	Márcia: uma completa a outra				
126	Professor: Então, segundo a Alice...				
127	Nicolau: inaudível				
128	Márcia: Nicolau, para!				
129	Professor: Não, mas essa ideia que o Nicolau ta falando tem mais a ver com a dualista, né? Num é?				
130	Nicolau: É...				
131	Gilberto: Professor, e se eu disser que a luz é partícula...				
132	Professor: Silêncio, eu não estou ouvindo o Gilberto que ta quase do meu lado. Fala, Gilberto.				
133	Gilberto: E se eu falar que a luz é partícula com fatores ondulatórios ou é onda com fator de partícula?				Elaboração de hipóteses
134	Professor: Aí nesse caso, você acha que vai ta dentro de qual dessas interpretações?	Faz o aluno situar sua descrição dentro de uma das interpretações da mecânica quântica	Qual interpretação contempla o fato da luz ser uma onda com aspectos de partícula ou partícula com fatores ondulatórios?	Pergunta exploratória de processo	
135	Gilberto: Então, mas assim, no meu raciocínio ela segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro.				explicação
136	Professor: Dá pra encaixar, não dá? Dentro de uma dessas interpretações. Fala aí, Cristina.				
137	Cristina: Não sei.				
138	Eduardo: Posso tentar?				
139	Professor: Pode.				
140	Eduardo: Tipo... (21:06)microscopicamente é uma partícula, macroscopicamente ela é uma onda				Elaboração de hipóteses
141	Professor: Tá. Segundo o Eduardo, se a gente olhar lá no microscópio... Microscópio não, se olhar no mundo dos micro, né? Se for pensar nela lá, enquanto natureza mesmo, na sua formação ela é?				
142	Eduardo: Partícula.				
143	Professor: Partícula. Mas se a gente observar de fora, no macroscópico, é isso? Aí ela é onda. Pode ser isso?	Tenta validar a hipótese de Eduardo perante a sala	A luz pode ser partícula no micro e onda no macro?	Pergunta exploratória do processo	
144	Alice: 21:48 depende de como se olha.				
145	Professor: Pra você isso é complementaridade?	Tenta situa a explicação em uma das classificações	Sendo partícula no micro e onda no macro é complementaridade?	Pergunta exploratória do processo	
146	Alice: É?				

147	Eduardo: Sim.				
148	Márcia: Pra mim não é.				classificação
149	Professor: Pra você é o que isso?	Refaz a pergunta tentando localizar a hipótese de Eduardo dentro das interpretações	Sendo partícula no micro e onda no macro que interpretação ela se encaixa?	Pergunta sobre dados	
150	Márcia: Porque aí ela ta sendo duas coisas ao mesmo tempo. Complementaridade é quando ela ta sendo ora uma coisa ora outra.				justificativa
151	Victor: 22:07 Então...				
152	Márcia: Não. Porque o que eu to falando... No micro... Olha, no mesmo momento quando você analisa no micro ela é partícula e no macro ela é onda. Você ta pensando no mesmo momento, então na mesma coisa ela ta sendo duas coisas ao mesmo tempo, no mesmo momento ela ta sendo duas coisas ao mesmo tempo. Mas pra ser complementar no momento "x" ela ta sendo uma coisa e no momento "y" ela ta sendo outra, entendeu?				Justificativa/ teste de hipótese
153	Aluno A: Depende da perspectiva...				
154	Alunos: Inaudível.				
155	Professor: Vamos falar um por vez, gente. Ta boa a discussão, mas vamos falar um por vez.				
156	22:43 vários: [inaudível]				
157	Gilberto: Então, mas não pode ser só a energia que ta passando de uma partícula pra outra?				Levantament o de hipótese
158	Professor: Não, a onda... Mas não é energia, é perturbação. A onda carrega energia.				
159	Gilberto: A onda carrega energia?	"como assim?"			
160	Lúcia: Eu não sei... Eu acho que é que nem ele falou. Uma hora ela se comporta de uma forma, como onda e outra hora como partícula (23:10)				Levantament o de hipóteses
161	Professor: Mas aí se ela se comporta ora de um jeito, ora de outro ela é o que?	Localiza a colocação da Lúcia dentro das interpretações	Se a luz se comporta ora de um jeito, ora de outro o que ela é?	Pergunta exploratória do processo	
162	Lúcia: Complementaridade...				Classificação
163	Professor: Não, ela é o que? Olha, pra primeira vocês falaram assim é uma onda. Pra segunda vocês falaram assim é uma partícula. Pra ultima vocês tão falando que é as duas coisas ao mesmo tempo. E na complementaridade ela é o que?	Explorar como a interpretação da complementaridade explica a natureza da luz	Na complementaridade a luz é o quê?	Pergunta sobre dados	
164	Lúcia (23:35) não sei				
165	Gilberto: Ah... Depois de tantos experimentos pra ver se é onda, onda mesmo ou se é partícula, partícula mesmo... Mas o que aconteceu, acabou ocorrendo fatores que defendiam 100% que é onda enquanto que outro defendia 100% que era partícula. Então, aí eu pensei, através disso, a onda pensando num só ele recebe complemento de ambas as partes. Ela não pode ser definida só como onda, nem só como partícula.				Explicação
166	Professor: Então a gente não tem definição pra esse caso?	Tenta validar a explicação de Gilberto para a complementaridade	Quando a luz recebe complemento da parte onda e da parte partícula, como disse o Gilberto, essa é a definição de complementaridade?	Pergunta exploratória so processo	
167	Judite: Não.				

168	Professor: Não sei, to falando pelo Gilberto.				
169	Judite: Vamos passar pra próxima.				
170	Professor: Vamos deixar em branco por enquanto?				
171	Judite: Vamos.				
172	Gilberto: Não				
173	Márcia: Não.				

5 – As explicações das quatro interpretações para a interferência com apenas um fóton. Professor explora as interpretações junto com os alunos para ver como cada uma delas pode explicar a interferência de um fóton.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformulando a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
174	Gilberto: Você pode colocar aquele negócio... Inaudível.				
175	Professor: Vamos pra linha de baixo. Pra cada uma dessas interpretações, como é que a gente, como é que a gente explicar a experiência do interferômetro? Supondo que a gente... Vamos explicar o interferômetro ideal, já que nem todo mundo conseguiu ver no real. Como é que a gente explica a figura? Essa figura 1 que ta ali. Se é uma onda, como é que a gente pode explicar a interferência?	Para a figura de interferência busca uma explicação para a interpretação ondulatória	Como explicar a interferência pela interpretação ondulatória?	Pergunta exploratória de processo	
176	Márcia: Inaudível.				
177	Professor: Fala alto.				
178	Márcia: Inaudível.				
179	Professor: Não entendi.				
180	Alice: Aquele negócio de ondas destrutivas e construtivas.				explicação
181	Professor: Ah, aquele negócio de ondas construtivas e destrutivas, foi isso que você falou?				
182	Márcia: É.				
183	Professor: Ainda bem que tem um amplificador. Ta. É assim que todo mundo acha? Eu consigo explicar a interferência como sendo duas ondas... Fase igual constrói, fases diferentes elas se anulam, é isso? Alguém tem outra ideia pra explicar isso?	Refaz a pergunta mas buscando ter outras hipóteses	Há alguma outra forma de explicar a interferência pela interpretação ondulatória?	Pergunta exploratória de processo	
184	(25:45) [inaudível]				
185	Márcia: É... Pra ter interferência tem que ter duas ondas. Quando elas tão na mesma fase, você vai ter a interferência construtiva que vai aumentar. Agora quando ta tendo... De um lado você ta tendo a voltinha assim e do outro ao contrário vai ser destrutiva, então vai diminuir. Se forem iguais os valores vai acabar com a onda. Isso, se forem ondas, agora se for complementar, aí eu não sei explicar. (26:25)				explicação
186	Professor: E como partícula? Como é que a gente explica isso? Alguém que não falou ainda... Luis, Priscila, Teresa, John... Como é que eu explico essa interferência se for partícula?	Para a figura de interferência busca uma explicação para a interpretação corpuscular	Como explicar a interferência pela interpretação Corpuscular?	Pergunta exploratória de processo	
187	Luis: parte é onda e parte é partícula...				Elaboração de hipótese
188	Alunos: mas isso é ondulatória [Inaudível].				
189	Professor: Calma, deixa o rapaz pensar.				
190	Alice: (27:13) A da complementaridade...				Classificação

191	Professor: Você ta pulando a pergunta Alice. Se a gente juntasse a ideia que o Luis ta lançando com o que a Clara tinha dito a pouco, a ideia da divisão, será que daria pra explicar? E vamos falar baixo pra não acordar a Zineck. E aí? Dá pra explicar como... Será que dá? Eu pego a partícula, quando ela passa ali, ela se divide, depois na hora que elas se encontram elas vão colidir, se juntam um pouco, tal... O que a gente tava discutindo antes, aí junta o que o Luis Tava conversando. Pode ser um caminho? Pessoas? Fala aí, Carlos! Sem comentários?	Refina a pergunta colocando uma hipótese já levantada em aula	Se a partícula se dividir e interferir, podemos explicar a interferência assim?	Pergunta exploratória de processo	
192	Carlos: isso aí.				
193	Professor: Fala aí Clara, o que você queria explicar então da... Como é que você explica o interferômetro?				
194	Alunos: Inaudível.				
195	Professor: Fala, Clara.				
196	Alice: Ele ta falando aqui [inaudível] (28:40)				
197	Professor: Não, mas como é que você explica interferência?				
198	Alice: Ah...				
199	Professor: como é que eu explico interferência pensando na complementaridade?	Para a figura de interferência busca uma explicação para a interpretação complementaridade	Como explicar a interferência pela interpretação da complementaridade?	Pergunta exploratória de processo	
200	Alice: Não sei...				
201	Professor: Falem mais.				
202	Alunos: (29:05) Estamos tentando...				
203	Professor: E aí? Ta bom, vamos pro ultimo então. Dualista-realista. Vocês disseram que... Nossa!				
204	Alunos: Inaudível.				
205	Professor: É... Dualista-realista vocês falaram que a luz era as duas coisas ao mesmo tempo. A interferência acaba sendo o que? Como é que eu explico a interferência na dualista? E aí, pessoal? Pra última interpretação vocês disseram que a luz era as duas coisas ao mesmo tempo, onda e partícula.	Para a figura de interferência busca uma explicação para a interpretação dualista realista	Como explicar a interferência pela interpretação dualista realista?	Pergunta exploratória de processo	
206	Márcia: Inaudível.				
207	Professor: Nós pulamos a complementaridade.				
208	Márcia: 30:10 [inaudível]				
209	Professor: Falou. A gente juntou a ideia do Luis com o que a Clara tinha dito antes da ideia de dividir o fóton no meio e tal...				
210	Márcia: 30:20 foton se dividindo				
211	Professore: Com o que?				
212	Márcia: Fóton se dividindo.				Organização de informações
213	Professor: Isso. E depois a colisão deles foi o que o Luis tinha dito àquela hora. E aí? Se ela é as duas coisas ao mesmo tempo na quarta interpretação como é que eu explico a interferência? Ela vai se comportar como o que?	Para a figura de interferência busca uma explicação para a interpretação dualista realista	Como explicar a interferência pela interpretação dualista realista?	Pergunta exploratória de processo	
214	Eduardo: Os dois.				explicação
215	Professor: Mas a gente não falou que interferência só acontece quando tem onda?	Explora a resposta do aluno para problematizar	Se a interferência só acontece como onda e a interpretação dualista diz que a luz é ao mesmo tempo onda e partícula, como podemos explicar?	Pergunta de problematização	

216	Márcia: 30:53 [inaudível]				
217	Professor: Não, antes, quando a gente teve aquele problema da interferência. Que não dava pra explicar como sendo partícula simplesmente. Aqui só falou que é uma partícula diferente, não é a mesma partícula, não dá pra pensar a partícula como a gente pensava antes da bolinha, com a massa, se for pensar nessa partícula tem algo que não tá certo. Tem que ser uma outra partícula diferente. Mas agora neste caso aqui ele tá dizendo que ela é onda e partícula ao mesmo tempo. Fica em branco ainda? Vamos... Agora não anotem, por favor. Eu vou apresentar pra vocês essas quatro interpretações. E aí tá dizendo o seguinte... Se a gente interpretar a luz como sendo onda, a gente vai explicar a interferência, que essa onda se divide em dois meio fótons no primeiro semiespelho, tá certo? E eles vão se recombinar lá no segundo como se fosse uma onda, né? Produzindo a interferência que a gente observa lá, certo? Essa interpretação que a Clara e o Luis estavam colocando agora pouco é a interpretação pra onda. Se a gente tá pensando como	Utiliza o texto para a explicação.			

6 – Recorre ao texto para sistematizar as explicações da quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton. Introduz a atividade escrita.

T	Falas transcritas	Descrição	Reformuland o a pergunta.	Classificação	INDICADORES DE AC
218	32:34 Alice: foi o que eu falei. O fóton é onda				
219	Professor: O fóton como sendo uma onda, certo? O fóton é uma onda e aí você tem o quê? Você divide ao meio no primeiro semiespelho, quando ele chega no segundo semiespelho ele se junta novamente e aí a gente tem a interferência. Agora, na segunda interpretação o fóton é uma partícula e aí ela não se divide nunca, tá certo?				
220	Alice: Por que uma partícula não se divide?	Aluna questiona o princípio da indivisibilidade das partículas fundamentais		Pergunta de problematização	Teste
221	Professor: Não. É a menor porção que a gente pode ter. E aí neste caso, para um único fóton... Ah... Como é que eu vou explicar a interferência?	Professor reforça o princípio. Para a figura de interferência busca uma explicação para a ondulatória visualizando um único foton	Como explicar a interferência em um único foton pela interpretação ondulatória?	Pergunta exploratória de processo	
222	Gilberto: Um único fóton é uma única partícula...				Classificação/ organização
223	Professor: Ahn?				
224	Gilberto: Pra um só fóton...				
225	Professor: Pra um único fóton.				
226	Gilberto: Pra um fóton é só um caminho, mas pra vários você pode ter mais de um.				explicação
227	Professor: Não entendi.				
228	Gilberto: Então, mas tem a possibilidade de ter mais de um caminho, porque tem mais de um...				explicação

229	Professor: Então, um único fóton segue...	Pausa para que os alunos continuem a frase.			
230	Gilberto: Um caminho...				
223	Professor: Um caminho. Pra um único fóton o que acontece? Como é que eu enxergo? Como é que eu consigo ver a interferência?	Refaz a pergunta	Como explicar a interferência em um único fóton pela interpretação ondulatória?	Pergunta exploratória sobre o processo	
232	Gilberto: Não vê, só segue um caminho.				explicação
234	Professor: Ele vai seguir um único caminho, ele vai lá e o que a gente vai tá observando, a gente vai ter mais um. Aí ele pode ser refletido ou transmitido passando por lá, tá? Mas a gente não vai ter...				
235	Gilberto: Professor!				
236	Professor: Oi.				
237	Gilberto: Colocando aí mais de um fóton como partícula (33:56)				
238	Professor: Então, mais aí pra mais de um a gente pode explicar como onda ou como partícula. Tem vários ali, aí eu posso pegar o raciocínio que eles fizeram lá das colisões, tá? Dualista realista, o fóton ele tem duas partes. É como se a gente tivesse, pensando lá na analogia que você tava fazendo agora pouco com a Biologia, vamos pensar num espermatozoide. Então você tem lá uma particulazinha e um rabinho lá que é a onda que ta associada, tá? Na interpretação dualista realista, a gente tem, então, a partícula é um surfista que ta viajando numa onda. Então tem uma partícula que ta caminhando numa onda, certo? Então neste caso a gente tem, né? A luz, ela é duas coisas ao mesmo tempo, que era a previsão de vocês dois, certo? E aí como é que eu vou explicar a interferência? A onda pode se separar lá no semiespelho, e aí a gente vai ter... Ela vai recombinar depois lá na frente. Eu consigo explicar com a parte onda, né? Do fóton.	O professor pergunta e ele mesmo responde sobre a explicação pra a interpretação dualista-realista.			
239	Márcia: (35:09) O fóton segue como onda				Elaboração de hipóteses
240	Professor: Ele segue um caminho onde eu consigo detectar e a onda pode seguir ali pelo outro lado. Eles se separam ali, depois se recombina. Tudo bem? Certo, Carlos? O que foi mesmo que a Clara tinha perguntado?	Pergunta fora do assunto da aula para chamar a atenção de Carlos.			
241	Carlos: Não ouvi, Professor.				
242	Professor: Pra variar, né? Nas ultimas cinco aulas isso tem acontecido.				
243	Carlos: Inaudível.				
244	Professor: Quer que eu lembre? Minha memória ta bem. No LIEA você ficou conversando no cantinho lá (35:40) Na aula passada eu chamei sua atenção e da Cristina que vocês tavam conversando, você tava fazendo um desenho, até entregou pra Clara, tá certo? Essa é a terceira aula, quer mais duas pra trás? Eu lembro.				
245	Carlos: Não, tá bom só.				
246	Alunos: Inaudível.				

247	Professor: Gente, interpretação da complementaridade, tá certo? Voltamos às discussões que estavam acontecendo agora pouco, tá? O fóton ora vai se manifestar como onda, ora como partícula, tá certo? Mais nunca ao mesmo tempo. Essa é a diferença que a gente encontra entre os dois. Na dualista realista o fóton é onda e partícula ao mesmo tempo. Eu tenho uma partícula com uma onda associada. Na interpretação da complementaridade, ora é de um jeito, ora de outro. E aí, vocês dois na hora que estavam comentando, né? Fizeram essa discussão. E aí o arranjo que a gente tem ali, a gente tem observação como? Como o que? Como onda e quando a gente põe o detector o que acontece? Ele tá interpretando como partícula, deixa de ter interferência. Na hora que a gente tava fazendo lá a simulação, quando a gente tá observando a interferência, qual é o comportamento que eu to eu to vendo ali da complementaridade? Como onda, certo? Agora, quando eu ponho o detector lá, o que acontece? Vai interagir o detector com o fóton que tá passando. Aquele fóton ali vai ter um comportamento de partícula e aí ele é absorvido ali e a gente não tem mais a interferência. Agora vocês têm que completar aí o quadro e tentar encaixar essas quatro afirmações pra cada uma dessas interpretações. Olha, “precisando de uma nova lógica”. Essa interpretação, essa frase, se adéqua a qual dessas interpretações? Ondulatória, corpuscular, complementaridade... “Quando o fóton se divide, quando o fóton decide se é onda ou partícula, só podemos falar na natureza da luz depois que a gente fizer a medição.” Essa afirmação é corpuscular, é dualista...	Explica a explicação da complementaridade para um único fóton.			
248	Márcia: (38:14) é complementaridade				Elaboração de hipótese
249	Professor: Ahn? Não, isso vocês só vão responder pra mim. No papel vocês vão colocar só essas questões que tão. Agora aqui...				
250	Alice: A segunda é complementaridade.				Elaboração de hipótese
251	Professor: Todo mundo concorda que a segunda é complementaridade?	Utiliza a intervenção da aluna para verificar a hipótese dela com os alunos	Todo mundo concorda que a segunda afirmação se refere à interpretação da complementaridade?	Pergunta exploratória de processo	
252	Luis: Sim.				
253	Professor: Eu só posso falar da natureza da luz depois que eu fizer a medição?	Relê a afirmação do texto.			
254	Alice: Essa é a terceira.				Elaboração de hipótese
255	38:35				
256	Professor: “Nunca um meio fóton foi detectado.” Isso é a terceira?				
257	38:40 ele tá perguntando.				
258	Professor: Oh, nós temos quatro interpretações, cada uma dessas afirmações se refere a uma dessas interpretações. Eu quero que vocês associem essas frases a essas interpretações.				
259	Lúcia: A última é dualista.				Elaboração de hipótese
260	Luis: Meio fóton (38:59)				Elaboração de hipótese
261	Lúcia: A última é dualista.				Elaboração de hipótese
262	Professor: A que se referem cada uma delas, vamos lá?				

263	Gilberto: (39:24)A um é ondulatória. É uma diferente da outra, professor.				Elaboração de hipótese
264	Professor: Não, eu quero saber a que se refere, não to falando que é.				
265	Gilberto: Ah sim.				
266	Professor: Eu to falando assim a quais interpretações essas afirmações se referem.				
267	39:40 Gilberto: entendi				
268	Professor: Um, dois, três, quatro, certo? Então a gente tem interpretação...				
269	40:00 Aluno: interpretação... dualista...				
270	Professor: Quais dessas afirmações dizem respeito...				
271	Lúcia: A ultima é dualista realista.				Elaboração de hipótese
272	Professor: A quarta é dualista realista? É isso?	Verifica com a aluna sua hipótese			
273	Lúcia: É.				
274	40:35 Alunos: É				
275	Professor: Mas tem mais alguém aqui que ta dizendo que a primeira também é.				
276	Márcia: 40:45 inaudível. É a um e a quatro				
277	Professor: É... Qual delas fala sobre, né? Onda e partícula juntas?	Localizando a interpretação com a questão	Qual interpretação fala que a luz tem duas partes?	Pergunta de sistematização.	
278	Lúcia: Dualista.				Elaboração de hipóteses
279	Professor: É, que ele fala que tem então uma partícula surfando numa onda. Qual que fala sobre isso?	Refaz a pergunta.	Qual interpretação fala que a luz tem duas partes?	Pergunta de sistematização.	
280	Alunos: Inaudível.				
281	Professor: Como é que é? A dois?				
282	Luis: A dois é complementaridade.				Elaboração de hipóteses
283	41:41 Alunos: A três é ondulatória e a um é dualidade				Elaboração de hipóteses
284	Professor: É isso? É isso, povo? Vamos conferir? "Nunca um meio fóton foi detectado", ta certo? Pensando na gente dividir a onda em duas partes, ta certo? Na teoria corpuscular a gente não consegue explicar então a gente precisa de uma lógica nova, não é isso? Pensando como sendo partícula, que ela é invisível esse tipo de coisa, então eu preciso de uma nova lógica pra explicar a partícula, pra explicar essa interferência, ta? Pra um único fóton a gente não conseguiu dar explicação. Onda vazia caminhando, né? Numa partícula... A partícula caminhando nessa onda é dualista realista. E esse aqui é complementar por quê? Porque eu só vou ter informação da natureza da luz depois de medir. Quando eu to vendo a luz eu não sei se ela é onda ou se ela é partícula. Se eu observo interferência eu to me referindo a quê?	Situar as explicações/fenômenos dentro da interpretação da complementaridade	Para a complementaridade, quando observamos um fenômeno de interferência a luz será tratada como o que?	Pergunta de sistematização	
285	Alice: Onda.				explicação
286	Professor: À onda. Se eu observo efeito fotoelétrico?	Situar as explicações/fenômenos dentro da interpretação da complementaridade	Para a complementaridade, quando observamos o efeito fotoelétrico a luz será tratada como o que?	Pergunta de sistematização	
287	Alice: Partícula.				explicação
288	Márcia: Mas como que ele explica o (43:00)				

289	Professor: Não explica, o que vai dizer pra essa interpretação é que eu não sei qual é a natureza, eu só consigo obter informação disso depois te der feito a medida.				
290	Márcia: Eles não explicam (43:18)				
291	Professor: É, aí porque se comporta de uma maneira diferente é um campo de atuação pra... Pro próximo (?) né Alice Sanches?				
292	Alunos: Inaudível.				