**Universidade de São Paulo
Instituto de Física
Instituto de Química
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação**

ELCIO DE SOUZA LOPES

“E o elétron? É onda ou é partícula?”

Uma proposta para promover a ocorrência da Alfabetização
Científica de Física Moderna e Contemporânea em
estudantes do Ensino Médio

SÃO PAULO
2013

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**

Lopes, Elcio de Souza

E o elétron? É onda ou é partícula? - uma proposta para promover a ocorrência da alfabetização científica de física moderna e contemporânea em estudantes do ensino médio

– São Paulo, 2013.

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. Argumentação; 4. Física moderna; 5. História da ciência.

USP/IF/SBI-074/2013

ELCIO DE SOUZA LOPES

“E o elétron? É onda ou é partícula?”

Uma proposta para promover a ocorrência da Alfabetização Científica de Física Moderna e Contemporânea em estudantes do Ensino Médio

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e a Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Ciências

Orientador: Prof^a. Dr^a. Lúcia Helena Sasseron

SÃO PAULO
2013

SOUZA-LOPES, Elcio de. “E o elétron? É onda ou é partícula?” Uma proposta para promover a ocorrência da Alfabetização Científica de Física Moderna e Contemporânea em estudantes do Ensino Médio

Dissertação apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação, ambos da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências- modalidade Física

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Lúcia Helena Sasseron

Instituição: FEUSP

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof^a Dr^a Anna Maria P. Carvalho

Instituição: FEUSP

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof^a Dr^a. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

***À minha Mãe Renilde e ao meu Pai Lino,
levados cedo demais para o Eterno
Acampamento, mas sem os quais eu não
estaria aqui.***

Agradecimentos

Primeiramente, eu tenho que agradecer à ENORME PACIÊNCIA da minha orientadora, Lúcia Helena Sasseron, que apesar das nossas adversidades profissionais e pessoais, não desistiu do meu trabalho. Incentivou-me quando pensei que tinha errado tudo. Orientou-me mais do que eu esperaria de um orientador. Teve calma quando o meu trabalho não fluia. Teve carisma quando eu literalmente “pisava na bola”.

Agradeço especialmente à minha Mãe, retirante do sertão nordestino, que veio semi-alfabetizada para São Paulo. Acuada pela morte da irmã mais velha (devido à gangrena em uma perna, pois levou uma reguada da sua professora por ter errado uma multiplicação), tinha receio de errar respostas em sala de aula. Depois, quando chegou em São Paulo, e conseguiu seu primeiro emprego, ao abrir uma conta no banco, não conseguia escrever o próprio nome, como contava entre lágrimas, jurou que todos os seus filhos estudariam e não passariam por essa situação. Espero estar contribuindo para o seu juramento, não somente como filho, mas também como professor.

Agradeço ao meu Pai que, mesmo sem ter educação formal, lia jornal todos os dias e discutia política conosco, seus filhos. Ele queria que nos tornássemos críticos, pois para ele, era na política, no voto correto e no debate que poderíamos mudar o mundo. Pena ele pensar, na época, décadas de 1960 e 1970, que a ARENA era mais importante ou melhor preparada para gerenciar nosso país que o MDB.

Agradeço à Tatinha, minha querida esposa, pois já trabalhamos juntos por mais de vinte anos no Movimento Escoteiro, na rede estadual paulista e na vida dura de professor. Companheira de todas as horas! Ficava comigo às noites enquanto eu estudava, lia, pensava e escrevia este e os outros trabalhos da Pós. Teve paciência quando eu já a tinha perdido, teve fé quando eu já havia esquecido, teve amor em todos os momentos, quando eu estava perdido. Deu-me broncas e chamadas quando eu precisava. Tive sorte de tê-la encontrado nesta vida.

Aos meus meninos Matheus e Nicolas, grandes amigos que a vida me deu. Ao Matheus, que em uma conversa sobre a sua vida passada, a presente e a futura, me mostrou que sou mais importante para ele e para o Nicolas do que eu poderia imaginar.

Agradeço aos meus Irmãos Lino, Beth, Lena e Edu, que de uma forma ou de outra ajudaram neste trabalho. Mesmo distantes, estão presentes na minha formação pessoal. Aos meus sobrinhos João Paulo, Filipe, Miguel, Guilherme e Gabriel que me ajudaram a entender os processos de desenvolvimento cognitivo na formação de uma criança, na raça, brincando e jogando com eles, ou somente observando suas transformações durante seu crescimento. Agradeço especialmente ao meu sobrinho João Paulo que me socorreu quando achei que todo o meu trabalho estava perdido com o computador que não funcionava.

Agradeço aos meus sogros, Mara e Irineo, que também de uma forma ou de outra ajudaram neste trabalho. Mesmo sem saber.

Ao Maurício Pietrocola que me aceitou como colaborador no LaPEF antes de iniciar o Mestrado, e facilitou minha compreensão dos processos envolvidos para o ingresso no Programa. E a retomar meus contatos com um grupo de pesquisa sério e competente como este. À Renata Andrade que me mostrou alguns caminhos dentro da Pós. E ao Alexandre Campos que me ajudou muito antes do Mestrado, no início dos meus contatos com o LaPEF. E com quem pude participar pela primeira vez de um SNEF, em 2009, em Vitória.

Agradeço ao meu grupo do LaPEF, à Anna, ao Tadeu, ao Andrey, ao Vítor, ao Nelson, à Lucélia, ao Sidinei e ao Leo pelos incentivos, apoios, dicas e críticas. Turma muito boa para se trabalhar.

Agradeço à Vera Henriques, ao Ivã Gurgel, ao Danilo e principalmente ao Grande Jucivagno, a grande equipe da disciplina de Práticas de Ensino de Física, que sempre me deu apoio e boas discussões para o meu crescimento pessoal durante meu período que passei como monitor com esse grupo.

Agradeço ao Nemi pelo apoio com os equipamentos e o acesso ao laboratório de Física Moderna do IFUSP, tanto quanto à equipe do Laboratório Didático, especialmente ao Alvimar, à Josiane, ao Ricardo, ao Cláudio e ao Grande Edelberto, amigo de muitos anos!

Não seria justo não agradecer ao Osvaldo Pessoa Júnior, que ajudou e muito com elogios, críticas e sugestões para este trabalho durante o processo e principalmente na qualificação.

Coonsegui dois artigos de GJ Stoney de 1881 e de 1894 muito importantes para a primeira fase do meu trabalho somente com a dedicação da Lydia Bayer Barbosa da Biblioteca do IFUSP. À Lydia meus agradecimentos e parabéns.

Agradeço aos meus Irmãos Escoteiros do Tapajós 32º SP, do Xavantes 285º SP e do Santo Amaro 56º SP. Nestes últimos três anos ao GESA em especial, pois apesar de ser voluntário, precisei me ausentar alguns momentos para me dedicar à minha vida acadêmica. Ao Caryl Chessman, formador na UEBSP, que me ajudou a encontrar caminhos na Formação Escoteira que me auxiliaram neste trabalho. E ao Tadeu, do Tapajós, que foi sempre desafiador, criando obstáculos divertidos na minha formação como Escoteiro e como Professor.

Agradeço, e muito, o apoio dos meus colegas da EE Paulo Mendes Silva, o Murilo e o Reinaldo, que sempre estão incentivando e apoiando meu trabalho. São dois caras MUITO BONS! À Jocilene, que fez a revisão de Língua Portuguesa (e se continuam os erros a culpa é somente minha) e que é uma parceira de piadas com a Rô e o Murilo nas tardes quentes da nossa escola. Ao Paulo Zanni que torce sempre pelos seus professor e pela sua boa formação. Aos meus queridos alunos, que entenderam que nem sempre eu estava presente em aula, pois estava tentando aprender mais por eles mesmos. Às coordenadoras Alessandra e Cíntia pela enorme paciência com minhas ausências durante todo o processo. Não penso que seja possível ser professor ou pesquisador em Ensino e em Educação sem ser docente. Essa distância burocrática, forçada, entre o pesquisador e a sala de aula faz o desenvolvimento da Educação andar a passos de tartaruga. Isso precisa ser mudado rapidamente

Agradeço à Diretoria Regional de Jundiaí, à dirigente Eliana Boldrin, incentivadora do meu trabalho. Do Núcleo Pedagógico agradeço a todos os meus antigos colegas, que de uma forma ou de outra, incentivaram o meu trabalho, principalmente à Zezé, à Patrícia e à Marisa. Da supervisão, ao Adão, à Lolita e à Carla, pelo apoio e direcionamento no pedido de bolsa à SEE – SP e à sua manutenção.

Agradeço à Secretaria de Estado de Educação do Estado de São Paulo e ao próprio Governo deste Estado. Eu seria irresponsável em apenas reclamar do que se faz errado ou incorreto no governo paulista, pois fazem muitas coisas boas também. O Projeto Bolsa Mestrado desta Secretaria e deste Governo ajudaram-me muito. Precisa ser melhorado, sim, mas é bom. Pois com ele, pude continuar em sala de aula, com meus alunos, trabalhando e pesquisando. E isso deveria ser copiado pelas agências de fomento e pesquisa do Brasil, principalmente CAPES e CNPq.

*Ninguém pode voltar ao passado para ter um novo começo, mas qualquer um
pode recomeçar agora, para ter um novo fim.*

Emmanuel

*...toda Universidade pública do Brasil deveria ter o compromisso de, numa
época do ano, abrir-se à sociedade, dar cursos acessíveis a professores do
ensino secundário. Esses professores precisam estar atualizados com o
progresso da ciência.*

José Leite Lopes¹

*Que oportunidade para o indivíduo que fizer dos átomos, moléculas e elétrons
seu passatempo predileto! Poderia ser o maior benfeitor da raça humana!*

Baden-Powell²

*A criação científica é uma coisa bastante interessante. Se fosse simplesmente
raciocinar logicamente seria uma coisa fácil, mas não é. Às vezes, é preciso
raciocinar errado para chegar ao resultado certo. Agora, qual o método para
raciocinar errado e chegar a uma solução correta, é uma grande incógnita.*

Mario Schönberg³

*Cada vez mais nos convencíamos ontem e nos convencemos hoje, de que o
homem brasileiro tem que ganhar consciência de sua responsabilidade social e
política, existindo essa responsabilidade. Vivendo essa responsabilidade.
Participando. Atuando. Ganhando cada vez maior ingerência nos destinos da
escola de seu filho.*

Paulo Freire⁴

¹ Lopes, J. L. **Unificando as forças da natureza** – entrevistado por J.P Assis. – São Paulo: Editora UNESP, 2001

² Baden-Powell, R.S.S. **Caminho para o Sucesso** – um livro sobre o esporte da vida, escrito para os rapazes – trad. ? - ? : Editora Escoteira, 1984

³ Schenberg, M. **Pensando a Física** – São Paulo: Nova Stella Editorial, 1990.

⁴ Freire, P.R.N. **Educação e atualidade brasileira** – org. J. E. Romão – 3.ed. – São Paulo: Cortez, 2003

RESUMO

SOUZA-LOPES, E. **“E o elétron? É onda ou é partícula?” Uma proposta para promover a ocorrência da Alfabetização Científica de Física Moderna e Contemporânea em estudantes do Ensino Médio**, 2013. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (IFUSP e FEUSP).

O trabalho que apresentamos é o resultado de uma pesquisa teórica acerca dos elementos necessários para que uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) possa promover a Argumentação e a Alfabetização Científica em sala de aula. Neste trabalho buscamos saber quais elementos deveríamos inserir nesta sequência de ensino para que realmente se tornasse um trabalho útil para o professor do Ensino Médio, e dessa forma, o trabalho tornou-se uma pesquisa teórica. Buscamos então, elaborar uma sequência de ensino sobre a dualidade onda-partícula do elétron, pois o elétron é a menor partícula com massa que pode-se trabalhar em sala de aula, a nosso ver. Para tratar a dualidade do elétron, fizemos o uso de material histórico que relaciona a Física Clássica e a Física Moderna, com destaque para a Física Quântica. Dentro da literatura pesquisada, pudemos compreender que uma sequência de ensino pode ser mais desenvolvida e aplicada, no que concerne à argumentação e à alfabetização científica, caso considere alguns pressupostos. Para tanto, utilizamos aspectos fundamentais e importantes de uma SEI (CARVALHO, 2011) e de eixos estruturantes e indicadores de Alfabetização Científica (SASSERON, 2008; SASSERON e CARVALHO, 2008). A sequência de ensino elaborada tem, a nosso ver, várias características de ensino investigativo, o que favoreceria a Argumentação e a Alfabetização Científica. Nossa análise feita para cada atividade indicou boa aceitabilidade quanto à utilização dos aspectos fundamentais e importantes para se elaborar uma SEI. Ainda mais, a análise também mostrou que as atividades também podem favorecer o surgimento de indicadores de Alfabetização Científica (indicadores de AC), o que implica em favorecimento dos eixos estruturantes da AC.

Palavras-chave: Alfabetização Científica; Argumentação; Ensino Médio; Física Moderna e Contemporânea; História e Filosofia da Ciência; Ensino Investigativo

ABSTRACT

SOUZA-LOPES, E. "And the electron? It is wave or particle? "One proposal to promote the occurrence of Scientific Literacy of Modern and Contemporary Physics for high school students, 2013. Dissertation (Master's Degree) – *Instituto de Física* and *Faculdade de Educação* of the *Universidade de São Paulo* (IFUSP and FEUSP).

The work we present is the result of a theoretical research on the elements necessary for a Sequence of Investigative Education (SEI) can promote Argumentation and Scientific Literacy in the classroom. In this work we know which elements should enter this teaching sequence that actually became useful work for the teacher of high school, and thus, the work became a theoretical research. We seek then develop a teaching sequence on the wave-particle duality of the electron, because the electron is the smallest particle with mass that can work in the classroom, in our view. To deal with the duality of the electron we use of historical material relating to Classical Physics and Modern Physics, especially Quantum Physics. Within the literature, we understand that a teaching sequence can be further developed and applied, with respect to the Argumentation and Scientific Literacy, should consider some assumptions. To use both fundamental and important aspects of an SEI (CARVALHO, 2011) and structural axes and indicators of Scientific Literacy (SASSERON, 2008; SASSERON and CARVALHO, 2008). The teaching sequence is prepared has, in our view, several characteristics about the investigative teaching, which would favor the Argument and Scientific Literacy. In our analysis for each activity indicated good acceptability for the use of the fundamental aspects and important to develop a SEI. Moreover, the analysis also showed that the activities can also favor the emergence of indicators of Scientific Literacy (AC indicators), which implies favoring the structural axes of the AC.

Key-Words: Scientific Literacy; Argumentation; Middle School; Modern and Contemporaneous Physics; History and Philosophy of Science; Investigative Teaching

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	6
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
SUMÁRIO	13
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO	18
1.2 A FMC NAS ESCOLAS ESTADUAIS DE SÃO PAULO	23
1.3 FÍSICA QUÂNTICA E SUAS INTERPRETAÇÕES	25
2. A IMPORTÂNCIA DA LEITURA DE TEXTOS HISTÓRICOS	27
3. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	32
3.1. SOBRE O TERMO ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	32
4. ARGUMENTAÇÃO	37
4.1 PADRÃO DE ARGUMENTAÇÃO DE TOULMIN	38
4.2 COMPLEXIFICANDO A ARGUMENTAÇÃO	40
5. SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA.....	42
5.1 ALGUNS PONTOS FUNDAMENTAIS PARA UMA SEI	42
5.1.1 <i>Da importância de um problema para um início da construção do conhecimento.....</i>	43
5.1.2 <i>Da ação manipulativa para a ação intelectual.....</i>	44
5.1.3 <i>A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento.....</i>	45
5.1.4 <i>As diferentes etapas das explicações científicas</i>	46
5.2 OS OITO ASPECTOS IMPORTANTES PARA SE ELABORAR UMA SEI.....	47
5.2.1 <i>A participação ativa do estudante</i>	48
5.2.2 <i>A importância da interação aluno-aluno.....</i>	48
5.2.3 <i>O papel do professor como elaborador de questões.....</i>	49
5.2.4 <i>A criação de um ambiente encorajador.....</i>	49
5.2.5 <i>O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula...50</i>	
5.2.6 <i>O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno.....</i>	50
5.2.7 <i>A relação ciência, tecnologia e sociedade.....</i>	51
5.2.8 <i>A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica.....</i>	51
6. ESTRUTURANDO A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	53
6.1 OS EIXOS ESTRUTURANTES DA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	54
6.2 INDICADORES DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	57
7. A METODOLOGIA DE TRABALHO.....	60

7.1 UMA PRIMEIRA OLHADA NOS BLOCOS	61
7.1.2 <i>Bloco 1: De como trataremos as Partículas</i>	62
7.1.2 <i>Bloco 2: De como trataremos as Ondas</i>	63
7.1.3 <i>Bloco 3: De como trataremos a Física Quântica</i>	64
8. A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	66
8.1 BLOCO1: O QUE SÃO PARTÍCULAS?	69
8.1.1 <i>Encontro 1: Um modelo para as partículas</i>	69
8.1.2 <i>Encontro 2: Os Raios Catódicos</i>	78
8.1.3 <i>Encontro 3: Conversando com JJ Thomson</i>	86
8.2 BLOCO 2: O QUE SÃO ONDAS?	99
8.2.1 <i>Encontro 4: Um modelo para ondas</i>	99
8.2.2 <i>Encontro 5: Difração com Raios Catódicos</i>	108
8.2.3 <i>Encontro 6: Conversando com GP Thomson</i>	123
8.3 BLOCO 3: E O ELÉTRON? É ONDA OU É PARTÍCULA?.....	131
8.3.1 <i>Encontro 7: Dentro de um microscópio eletrônico havia um dilema</i>	131
8.3.2 <i>Encontro 8: E o elétron? É onda ou é partícula?</i>	138
8.3.3 <i>Encontro 9: As interpretações da Física Quântica</i>	149
9. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS	158
REFERÊNCIAS.....	166
ANEXO - O TUBO DE RAIOS CATÓDICOS.....	173

1. INTRODUÇÃO

Nesta pesquisa, propomos o desenvolvimento de uma ferramenta para se trabalhar a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, mais especificamente a Física Quântica, relacionada com a discussão da dualidade onda-partícula, utilizando para tanto recursos do processo de argumentação em sala de aula. Propomos uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para o Ensino Médio, de forma a favorecer a Alfabetização Científica através da promoção de atividades que fomentem os processos de Argumentação na sala de aula. E essa preocupação tornou-se a nossa questão de pesquisa: ***Quais os elementos presentes em uma Sequência de Ensino Investigativa que propomos podem proporcionar a Argumentação e a Alfabetização Científica entre os alunos do Ensino Médio?***

E dessa forma, buscamos na literatura quais seriam os trabalhos relacionados com a aplicação da Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio, começando com trabalhos significativos para nós, professores da rede estadual paulista, que na sua reforma curricular utilizou-se de trabalhos acadêmicos significativos para nossas intenções, no caso os trabalhos de Brockington (2005) e Siqueira (2006). Nessa nossa busca nos deparamos com o estado da arte tratado por Ostermann e Pereira (2009), em que afirmam esses pesquisadores que ainda há muito a ser feito.

Claro que existem outros trabalhos sobre o tema Física Moderna e a Dualidade Onda Partícula (BROCKINGTON, 2005 e BARRELO, 2010), utilizando inclusive, experiências como o interferômetro de Mach-Zehnder, porém, até o momento, não encontramos referências no Brasil sobre trabalhos em sala de aula que analisem o problema da dualidade onda-partícula sob o aspecto da matéria, ondas de matéria especificamente, como no caso do elétron.

Enquanto historicamente o problema da dualidade da luz foi inicialmente discutido no âmbito da Física Clássica por Newton e por Huygens, a dualidade do elétron faz parte do desenvolvimento histórico da Física Quântica, com os artigos que Louis De Broglie escreveu entre 1923 e 1926, e também com as experiências definitivas de GP Thomson em 1927. Como o nosso trabalho não pretende fazer uma análise histórica, não discutimos os artigos sobre ondas de matéria de Davisson e Kunsman (1923), Dymond (1926) e Davisson e Germer (1927). Muito menos entrar na discussão, por exemplo, sobre a possibilidade de Einstein ter pensado em ondas de matéria independentemente de Louis de Broglie em setembro de 1924.

Discutir esta questão demanda dar atenção também à transição da Física Clássica, especialmente a transição da Mecânica e do Eletromagnetismo (tratados por GJ Stoney e JJ Thomson) para a Física Quântica discutida e defendida por GP Thomson e W Heisenberg. Nos artigos dos primeiros, há menção à definição do nome “elétron” ou “átomo de eletricidade” em 1874 por GJ Stoney, e reforçado por ele mesmo em outro artigo de 1894. E ainda a definição do elétron como partícula em 1897 por JJ Thomson. Como os trabalhos de Stoney estavam relacionados com um modelo atômico de Dalton, para o pesquisador, então, o elétron era partícula sem nenhuma dúvida. Para JJ Thomson os raios catódicos (ainda no artigo referido não tratava de especificar elétron como a partícula dos raios catódicos) tinham características de partículas, podendo se observar trajetórias, posições e velocidades. Com GP Thomson (Thomson, 1928), o elétron, ainda relacionado com raios catódicos, é tratado como onda, sem possibilidade de dúvidas, pois baseia suas experiências na teoria quântica ondulatória de Louis de Broglie e Erwin Schrödinger. E W Heisenberg (1927) trata desse problema da dualidade do elétron em discussões sobre experimentos reais de JJ Thomson e de GP Thomson e discorrendo sobre experimentos mentais (*gedankenexperiments*).

As apresentações do processo histórico dos estudos dos raios catódicos e do elétron neste período (1874 a 1928) favorecem a discussão da transição da Física Clássica para a Física Moderna, em aulas do Ensino Médio. Enquanto GJ Stoney e

JJ Thomson tratavam o elétron e os raios catódicos como partículas, GP Thomson a tratava como onda e W Heisenberg tratava o elétron como algo que era onda e partícula, dependendo do caso estudado. E a apresentação destes aspectos históricos e filosóficos também favorece a discussão do tema Física Moderna, mais especificamente o de Física Quântica, em salas de aula do Ensino Médio, pois facilitam as criações de ferramentas de ensino tais como a criação de experiências reais e como a elaboração de textos históricos, que foram adaptados dos artigos escritos pelos pesquisadores sobre a Física Moderna, mais especificamente sobre o elétron.

Ao colocarmos os estudantes em situações de aprendizagem que favoreçam a mediação do ensino através da leitura de textos históricos, mesmo que adaptados, estamos favorecendo o debate de ideias sobre o desenvolvimento da sociedade, e no nosso caso, o desenvolvimento científico. Para Wertsch (1999), os textos históricos são ferramentas culturais e a narrativa histórica uma forma de apresentar a integração das informações, não sendo apenas uma lista de eventos descritos em uma tabela.

Assim, de posse dessas informações, na forma de textos adaptados, os alunos são convidados a participar de uma Sequência de Ensino Investigativa, envolvendo textos históricos adaptados, demonstrações investigativas e laboratórios investigativos. Os textos adaptados foram montados de tal forma que os artigos desses cientistas fossem mostrados em uma forma mais próxima ao aluno, mas mantendo o conteúdo do texto original. Foram escritos de tal forma a serem semelhantes ao formato de uma entrevista para a editoria de ciência de um jornal.

As entrevistas foram estruturadas de maneira a apresentar uma entrevistadora que explicita os aspectos relevantes dos artigos para os leitores utilizando como respostas dos cientistas os seus textos originais. As respostas dos cientistas que foram escritas em *itálico*, somente foram traduzidas do texto original e na medida do possível, mantida a ordem em que aparecem no artigo, as que foram

escritas em formato normal foram criadas para estruturar o texto como uma entrevista real.

Na Sequência de Ensino Investigativa (SEI) que pretendemos apresentar como resultado deste trabalho de mestrado, o estudante é convidado a executar e discutir várias atividades com seus colegas e com seu professor. Nossa intenção é promover a alfabetização científica através do processo de argumentação entre alunos e entre professor e alunos, tanto que nossos objetivos com a nossa pesquisa são verificar o que é necessário considerar para o planejamento de uma SEI sobre o tema Física Moderna e Contemporânea que vise promover a Alfabetização Científica e a Argumentação entre os alunos e quais seriam os elementos presentes em nossa SEI que proporcionam a Alfabetização Científica e a Argumentação.

Para dar conta de atingir esses objetivos, o nosso trabalho foi estruturado como uma pesquisa teórica, que relaciona os trabalhos em Argumentação e Alfabetização Científica de tal forma a embasarem uma Sequência de Ensino Investigativa sobre Física Quântica, na qual supomos que as relações entre o professor e o Ensino Investigativo, entre o professor e a Física Moderna e Contemporânea, e entre o estudante e a Sequência de Ensino Investigativa promovam a Argumentação e consequentemente a Alfabetização Científica.

1.1 A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

A necessidade em se discutir a Física Moderna no Ensino Médio já foi bem discutida e está bem definida com trabalhos de Terrazan (1992), Ostermann e Moreira (2000), Grecca e Moreira (2001), Cavalcanti e Tavoraro (2001), Souza-Lopes (2004), Brockington (2005), Siqueira (2006), Ostermann e Pereira (2009), Barrelo Junior (2010). Celulares cada vez mais acessíveis e com funções diversas: câmeras fotográficas e de vídeo, acesso à rede mundial de computadores, sensores de gravidade (que fazem as imagens seguirem a orientação do aparelho,

independentemente da posição), acesso ao sistema de posicionamento global, baterias recarregáveis de longa duração, alto-falantes potentes, tecnologia de troca de dados entre aparelhos, entre outras.

Outros casos são interessantes também, como as balanças digitais, os aparelhos de televisão de tipos diversos (tela de cristal líquido, tela de plasma e tela de diodo - LED), diagnósticos por imagem, desenvolvimento de programas de computador, desenvolvimento de jogos para computador e celulares. Como afirma Brockington (2005):

Vale notar que fora das escolas os alunos recebem estímulos de diversos setores da sociedade, que acabam por mantê-los em contato com realizações no campo da ciência. Filmes, sites na Internet, histórias em quadrinhos, entre outros, aproximam os adolescentes do mundo da ciência e da tecnologia sem, no entanto, fornecer princípios e bases conceituais para entendê-lo.

Vários exemplos envolvendo a Física Moderna podem ser encontrados em propostas de ensino de FMC para o Ensino Médio desenvolvidas e defendidas no LaPEF (BROCKINGTON, op. cit; SIQUEIRA, op. cit.; BARRELO JUNIOR, op.cit.). Os trabalhos de Brockington e Siqueira foram parcialmente utilizados como base do material do novo currículo da Secretaria de Educação do Estado de São Paulo (SEESP). Além disso, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) os colocam como necessidade social, para essa discussão:

As novas tecnologias da comunicação e da informação permeiam o cotidiano, independente do espaço físico, e criam necessidades de vida e convivência que precisam ser analisadas no espaço escolar. A televisão, o rádio, a informática, entre outras, fizeram com que os homens se aproximassem por imagens e sons de mundos antes inimagináveis. (BRASIL, 1999, p.132).

No Ensino Médio da rede pública estadual paulista, reformulado há quatro anos (SÃO PAULO, 2008 e 2010), ainda que sejam apenas duas aulas de Física por semana, é necessária a discussão de fenômenos que envolvam a Física Moderna, uma vez que é importante a formação de cultura científica.

A Física ensinada na escola deve ser pensada como um elemento básico para a compreensão e a ação no mundo contemporâneo e para a satisfação cultural do cidadão de hoje. No entanto, a escola média tem tido dificuldade em lidar adequadamente com os conhecimentos físicos na perspectiva de uma formação para a cidadania. Os currículos e programas de Física destinados ao Ensino Médio, tradicionalmente, têm seguido uma estrutura conceitual linear e hierárquica, sem transpor as fronteiras das teorias clássicas produzidas até o século XIX, insuficientes assim para contemplar os desafios da sociedade moderna, por exemplo, para a compreensão dos recursos tecnológicos envolvidos na produção de energia e alimentos, na preservação do meio ambiente, nos diagnósticos de saúde e em incontáveis equipamentos de informação e lazer. (SÃO PAULO b, 2010, p. 96)

E para os PCNEM a Física também tem esse caráter, de envolver o conhecimento físico clássico com o moderno, mas principalmente o caráter de formação de cidadão alfabetizado cientificamente (como veremos mais a frente):

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. (BRASIL, 1999, p.229)

Além dos textos oficiais sobre o Ensino de Física Moderna, que deveria ter sido trabalhada com os estudantes antes do final do século XX como afirma João Zanetic⁵ (TERRAZZAN, 1992, p.211), ainda tem sua importância gritantemente atual e necessária em todos os níveis escolares. E podemos verificar um aumento do interesse e da importância do tema desde a década de 1980 apontada em pesquisas feitas durante esse período por Solbes (1987) e por Ostermann e Moreira (2000) em “uma revisão da literatura sobre a linha de pesquisa Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio” (p.23) (que também abarcaram em seus estudos artigos da década de 1990); Grecca e Moreira (2001) também pesquisaram artigos sobre o ensino de mecânica quântica em nível introdutório durante década de 1990. E o tema continua em discussão atual nesta primeira década do século XXI, mas estamos em processo inicial.

⁵ O que não podemos é esperar a entrada do século XXI para iniciarmos a discussão nas escolas da Física do século XX. Utilizando uma frase de um colega pesquisador em ensino de física, Prof. João Zanetic da USP, é fundamental que "ensinamos a física do século XX antes que ele acabe".

Claro que existem trabalhos na área (CAVALCANTE & TAVOLARO, 2001), que afirmam com boa razão:

Este trabalho mostra como podemos, portanto garantir uma inserção gradativa dos nossos estudantes, em qualquer área do conhecimento, no seu tempo e espaço, permitindo-lhes uma conquista das inovações tecnológicas do século XX e sua interferência no cotidiano do homem moderno. (CAVALCANTE & TAVOLARO, 2001, p. 314)

Segundo a revisão bibliográfica feita por Ostermann e Pereira ainda há muito que se fazer na área, e a nossa proposta de se verificar como se processam as discussões acerca do conceito dual da matéria é significativo, pois para os pesquisadores:

Embora haja um número considerável de estudos envolvendo propostas didáticas inovadoras, há poucos trabalhos que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos relativo a temas de física moderna e contemporânea em sala de aula. (OSTERMANN e PEREIRA, 2009, p. 393).

A discussão aparentemente não consegue desenvolvimento e evolução, pois um problema apontado por Terrazzan (1992) sobre a qualidade de ensino de Física na rede pública ainda persiste:

A deterioração da qualidade de ensino verificada, desde alguns anos, nas escolas de 2º grau, sobretudo na rede pública, constitui-se numa situação alarmante que deve exigir uma atenção maior para o problema de formação do profissional que atua no ensino secundário. No caso da disciplina Física, esse problema é agravado pela crescente falta de profissionais formados com habilitação específica na área. É comum encontrarmos, mesmo nos grandes centros urbanos, professores formados em outras áreas, especialmente matemática, lecionando física no 2º grau. Este é um aspecto que deve ser tratado com programas mais amplos, tanto de formação em serviço como de reformulação das nossas licenciaturas, o que exige uma atuação conjunta universidade e escola de 2º grau. (TERRAZAN, 1992, p. 213)

E essa persistência na dificuldade de se trabalhar a Física Moderna pode ser sentida através do artigo de Montenegro e Pessoa Júnior (2002) sobre as interpretações da Mecânica Quântica por alunos de graduação e pós-graduação entre 1995 e 1998. Os pesquisadores verificaram que ainda persistem erros conceituais de interpretação da Mecânica Quântica no processo de ensino e

aprendizagem: uso de interpretações privadas *versus* interpretações oficiais, erros conceituais em cursos excessivamente matemáticos, menosprezo à teoria da medição e interpretação do princípio da incerteza entre outros. Se nada foi feito para modificar esse quadro, os ex-alunos desses cursos de São Paulo (IFUSP) e do Paraná (UFPR), agora professores, possivelmente, estarão reproduzindo esses erros. Essas falhas no ensino e na aprendizagem de conceitos de Mecânica Quântica podem ser reproduzidos nos materiais didáticos. E mesmo os PCN+ (BRASIL, 2002) sendo categóricos quanto à importância do ensino de Física Moderna no Ensino Médio, os materiais didáticos são ainda muito fracos nesse aspecto.

Em um trabalho muito interessante, Colbert São Paulo (2004) descreve em sua dissertação como os livros didáticos discutiram (ou não) a Física Moderna entre 1950 e 2000. Em seus comentários finais expõe algumas de suas descobertas interessantes, e também algumas embaraçosas:

Entre as interessantes, lembramos a identificação de um trabalho anterior aos projetos curriculares, propostos pelos professores Leite Lopes e Jaime Tiomno ainda na década de cinquenta, e a presença, nessa década, de tópicos de Física Moderna nos livros didáticos, que permaneceram até meados da que permaneceram até meados da década de setenta; como situação embaraçosa, identificamos o desaparecimento nos livros didáticos destes tópicos, em um período que se estende do final da década de setenta até meados da década de noventa. (SÃO PAULO, 2004,p. 175)

Colbert São Paulo explica que considerou embaraçoso o desaparecimento de tópicos de Física Moderna dos livros didáticos porque a motivação “foi por se considerar e desejar um ensino médio propedêutico” (p.176). E continua a justificativa explicando que fora confirmada essa intenção devido à necessidade de “um conhecimento prévio para o ingresso na universidade e este conteúdo, não fazer parte de grande parcela dos cursos da área de Engenharia, Matemática e Ciências” (*idem*). Para o autor os livros didáticos continuam tradicionais, não permitindo, por exemplo, uma descrição do “processo criativo do cientista, nem este é apresentado como sujeito situado no mundo que constrói” (*ibidem*). Ao ler os guias de Livros Didáticos do PNLD 2012 editado pelo MEC (BRASIL, 2011), é possível perceber a preocupação da equipe escolhida para a seleção e análise das obras

com o ensino de Física na Educação Básica. São pesquisadores sérios e ativos em suas áreas, oriundos de várias partes do Brasil e de boas instituições públicas de ensino e pesquisa.

No texto de apresentação do guia, na parte “A Física escolar”, a equipe deixa claro que há um currículo histórico, “que foi se estruturando pela tradição das práticas escolares, e que foi se firmando como razoavelmente aceito” (p.8) pelos professores de Física e pelas escolas no Brasil. Entretanto, como a pesquisa em Física não para, e assim, mais e mais assuntos interessantes aparecem nessa área, e mais ainda, como resultados das pesquisas acadêmico-científicas em Ensino de Física nas últimas décadas trazem sinalizações e orientações, a quantidade e a diversidade dos assuntos tratados na Física escolar foram ampliados.

Outras necessidades surgem do próprio processo de resignificação do Ensino Médio em geral e as necessidades que surgem em decorrência da Física escolar, que são passíveis de verificação nas escolas e na sociedade em geral. Vejamos agora como a Física Moderna e Contemporânea tem sido trabalhada no Ensino Médio nas escolas estaduais de São Paulo.

1.2 A FMC nas escolas estaduais de São Paulo

Nas dissertações de Guilherme Brockington e de Maxwell Siqueira são desenvolvidas sequências didáticas para o ensino de Física Moderna no nível médio (BROCKINGTON, 2005; SIQUEIRA, 2006) que foram adaptadas para a rede pública do Estado de São Paulo. Como consequência, as discussões sobre a Física Moderna aumentaram entre os professores da rede e entre alunos de graduação e de pós-graduação em todo o estado e possivelmente em todo o país. O Governo do Estado de São Paulo aplicou muitos recursos financeiros na montagem de um currículo oficial obrigatório, na distribuição gratuita de guias de estudos para os mais de cinco milhões de alunos da rede e na distribuição dos guias de trabalhos para os

mais de 200 mil professores, mas nenhum recurso foi destinado para a formação em serviço dos profissionais de ensino envolvidos, isso provocou grandes discussões sobre a eficácia do novo rumo tomado na educação no estado. Entre os assuntos discutidos estava a Física Moderna presente principalmente nos conteúdos dos terceiro e quarto bimestres nas três séries do Ensino Médio, mesmo que estivesse presente no currículo proposto pelos PCNEM (BRASIL, 1999) há muito tempo e reforçado pelos PCN+ (BRASIL, 2002).

São fatos como os relatados que nos levaram a buscar mais informações e melhor formação. Em nossa pesquisa, pudemos identificar a importância de nossa proposta com as palavras finais de Ostermann e Pereira (2009) sobre os últimos dez anos de publicações na área de ensino de Física Moderna:

É possível constatar que, apesar do notável aumento relativo de publicações sobre o ensino de FMC que apresentam resultados de pesquisa, a maioria dos artigos ainda se refere a bibliografia de consulta para professores. Embora os trabalhos de desenvolvimentos sejam extremamente relevantes para o ensino de ciências, pois são fontes de informação e recursos para professores e alunos, é necessário que o material resultante desses trabalhos seja submetido a uma avaliação crítica para verificar em que medida eles realmente facilitam os processos de ensino-aprendizagem. De maneira análoga, a maioria dos trabalhos de pesquisas que avaliam propostas didáticas em sala de aula se ocupa da organização do conteúdo e do rigor científicos com que eles são apresentados. Embora o rigor e a ênfase em conceitos-chave sejam imprescindíveis para um bom ensino, é necessário também investigar os processos conduzidos em sala de aula que estruturam e condicionam a aprendizagem. Somente assim poderemos adquirir uma melhor compreensão dos mecanismos utilizados por professores e alunos na construção de conhecimentos relativos a temas de FMC. (OSTERMANN e PEREIRA, 2009, p.414)

E essa preocupação em “investigar os processos conduzidos em sala de aula que estruturam e condicionam a aprendizagem” está presente em nosso trabalho, no qual pretendemos verificar as idéias expressas pelos alunos quando são confrontados com a natureza dual da matéria. Também pretendemos investigar como ocorrem as interações discursivas em uma aula experimental com um enfoque na natureza dual da matéria. Pretendemos, dessa forma, fornecer material para melhorar a aprendizagem dos alunos quanto ao conteúdo da dualidade onda-partícula da matéria no Ensino Médio.

1.3 Física Quântica e suas Interpretações

Desde o surgimento das ideias da Física Quântica com Max Planck em 1900, ou até desde antes, com as discussões acerca da natureza da luz, por Newton e Huygens, discute-se em âmbito acadêmico se a matéria é formada por corpúsculos ou por ondas. No tocante à Física Quântica fundamentada no século XX podemos identificar quatro interpretações básicas, ou de outra forma, quatro grupos de interpretações que abarcam todas as mais utilizadas por cientistas e filósofos. Vale reforçar aqui que existem outras mais (PESSOA JR, 2003; 2006). Teremos então, a interpretação ondulatória, a corpuscular, a dualista realista e a interpretação da complementaridade. Essas interpretações são discutidas de forma extensa e profunda por Osvaldo Pessoa Júnior (2003 e 2006), e serão consideradas como base dos textos sobre Física Quântica próprios da SEI, que será elaborada também com base na bibliografia adicional que apontamos à frente.

A *interpretação ondulatória* considera que os objetos quânticos são ondas, segundo a idéia original de Erwin Schrödinger, porém há uma extrema dificuldade em explicar os fenômenos observados sem a noção de “colapso”. Assim, numa versão ingênua dessa interpretação a realidade que corresponderia à função de onda sofreria colapsos toda vez que ela interagisse com aparelhos de medição.

Para a *interpretação corpuscular*, as entidades microscópicas são partículas sem uma onda associada. Defendida por Alfred Landé, dentro da interpretação dos coletivos estatísticos. No nosso caso, essa interpretação traz dificuldades na explicação dos padrões de interferência na difração de elétrons, mas como é muito comum encontrarmos interpretações corpusculares na literatura, também esperamos encontrá-la de forma mais ingênua entre os estudantes.

A *interpretação dualista realista* pode ser encontrada no trabalho de Louis de Broglie, em sua teoria da “onda piloto”, e ampliada por David Bohm para incluir o aparelho de medição. Para essa interpretação o objeto quântico se divide em duas partes: uma parte seria uma partícula com trajetória bem definida (em geral

desconhecida), e a outra parte seria uma onda associada. Num curso introdutório, esta abordagem estaria livre do problema da não-localidade (que surge quando se consideram duas partículas correlacionadas), porém tendo como dificuldade conceitual a existência de “ondas vazias” (ondas que não transportariam energia).

Finalmente, a *interpretação da complementaridade de Niels Bohr* reconhece a limitação de nossa capacidade em representar a realidade microscópica. Conforme o experimento, podemos usar ou uma descrição corpuscular, ou uma ondulatória, mas nunca ambas ao mesmo tempo. Para Bohr o objeto quântico não é um corpúsculo ou é uma onda, somente podemos afirmar a existência do que podemos observar. Ou seja, afirmar que “um elétron não-observado pode sofrer um colapso” carece de sentido, nessa interpretação. Podemos diferenciar fenômenos ondulatórios de corpusculares da seguinte forma: o fenômeno ondulatório se caracteriza pela medição de um padrão de interferência; e o fenômeno corpuscular pela possibilidade de inferir uma trajetória bem definida. Então, o aspecto pontual de toda detecção (considerada pela interpretação corpuscular como a maior evidência da natureza corpuscular dos objetos quânticos) que ocorre mesmo em fenômenos ondulatórios, é considerado o princípio fundamental da teoria quântica, e chamado por Bohr de “postulado quântico”. Há diversas variações desta abordagem, constituindo as chamadas interpretações “ortodoxas”.

2. A IMPORTÂNCIA DA LEITURA DE TEXTOS HISTÓRICOS

Os textos históricos já têm sua importância quando trazem para o leitor informações sobre como se processou a cadeia de ideias, conceitos e trabalhos feitos pela humanidade. Quando se trata de textos de História da Ciência, eles podem trazer mais luz na compreensão dos fatos históricos, do desenvolvimento científico, de como se processaram o desenvolvimento das ideias, os conceitos e os fundamentos da Ciência. Pode-se encontrar referências em textos acadêmicos de periódicos do uso de textos históricos adaptados (OSTERMANN, FERREIRA, CAVALCANTI, 1998; CAVALCANTE, PIFFER E NAKAMURA, 2001; ALMEIDA E MOZENA, 2000; DIAS, SANTOS E SOUZA, 2004), mas deve-se ter cautela em se tratar com o uso de história da ciência, e da filosofia da ciência também, como veremos a seguir.

Quando são tratados em sala de aula, porém devem ter certa adaptação. Não é fácil a leitura de textos ou artigos científicos originais, mesmo com tradução, ou com uma versão. Para o texto ser didaticamente aceito pelos estudantes, ou seja, tenha facilidade de leitura, a mais completa gama de assuntos sobre o tema do artigo ou texto possível, como podemos observar na afirmação de Roberto de Andrade Martins:

A História das Ciências nos apresenta uma visão a respeito da natureza da pesquisa e do desenvolvimento científico que não costumamos encontrar no estudo didático dos resultados científicos (conforme apresentados nos livros - texto de todos os níveis). Os livros científicos didáticos enfatizam os resultados aos quais a ciência chegou – as teorias e conceitos que aceitamos, as técnicas de análise que utilizamos – mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência. De que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como os cientistas trabalham? Quais as idéias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado? Quais as relações entre ciência, filosofia e religião? Qual a relação entre o desenvolvimento do pensamento científico e outros desenvolvimentos históricos que ocorreram na mesma época? (MARTINS, 2006)

Não esperamos, nem pretendemos, substituir o ensino tradicional das ciências por um ensino baseado tão somente por História da Ciência. Mas mostrar,

dentro de um programa de apresentação de conteúdo, de forma dinâmica e direta, que é possível tratar o ensino de Física Moderna em sala de aula de Ensino Médio, relacionando Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente, como afirma Martins

O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as interrelações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que não é uma coisa isolada de todas as outras mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade (MARTINS, 2006)

Martins aponta algumas dificuldades e alguns erros que podem ser superados com um bom trabalho em História da Ciência. Para a utilização da história da ciência, Siegel (apud MARTINS, 2006) aponta como dificuldades:

- a carência de um número de professores com a formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências;
- a falta de material didático adequado (textos sobre história da ciência) que possa ser utilizado no ensino; e
- equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação

No seu texto, Martins explica como é possível contornar essas barreiras do trabalho com história da ciência. É possível contornar a falta de professores caso eles se dediquem sozinhos ao estudo e à pesquisa da história da ciência, mas não é o caso. O autor aponta como uma possível solução, a formação em nível superior de professores – pesquisadores, ou seja, “pessoas capazes de fazer pesquisa (em nível internacional) sobre história da ciência e não professores improvisados de história da ciência”. No nosso país, é necessário ainda aumentar o número de grupo e de cursos de pós – graduação em história da ciência, “precisamos de um maior intercâmbio com os melhores centros de pesquisa do exterior, precisamos de novos grupos, departamentos e centros de pesquisa na área”. E nesse caso, segundo Martins, professores improvisados podem prestar um desserviço à área de história da ciência.

A segunda barreira, a falta de material didático adequado que possa ser utilizado no ensino de história da ciência, está na qualidade e não na quantidade. Para Martins material didático está restrito aos textos sobre história da ciência, na língua portuguesa e de bom nível. Livros podem ser encontrados em livrarias e

bancas de jornal, em enciclopédias, em livros de “gênios” da humanidade, em livros didáticos, na internet. Há muito material sobre o assunto, mas a qualidade é insuficiente. Da mesma forma que se encontram professores improvisados, também existem os escritores improvisados de história da ciência. Assim, autores improvisados juntam tudo o que podem, recortes de jornal, artigos de enciclopédia, textos de outros autores improvisados da internet e despejam para o pobre leitor, textos incorretos, com informações históricas erradas e distorcem completamente a natureza da ciência. O leitor, despreparado, infelizmente recebe textos que não o auxiliam na compreensão da natureza da ciência. E então,

Em vez de ajudar a corrigir a visão popular equivocada a respeito de como se dá o desenvolvimento científico, esses livros e artigos contribuem para reforçar e perpetuar mitos daninhos a respeito dos “grandes gênios”, sobre as descobertas repentinas que ocorrem por acaso, e outros erros graves a respeito da natureza da ciência.(MARTINS, 2006., p. xxiv)

Assim, Martins defende como solução desta barreira, que o material didático deva ser escrito, montado por alguém que entenda do assunto, ou seja, ser fruto do trabalho de pesquisa, “do estudo dos melhores estudos já feitos sobre o tema e da leitura das obras originais (leitura primária) que estão sendo descritas”. E então, um bom texto de história da ciência que possa ser utilizado em sala de aula deve estar escrito em uma linguagem adequada e simples, sem ser simplista em demasia.

Finalmente, a terceira barreira é representada pelos equívocos a respeito da natureza da ciência e seu uso equivocado em ensino. E segundo Martins, esses equívocos podem ainda gerar empecilhos ao ensino de ciências, e cita alguns exemplos: redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas; concepções errôneas sobre o método científico; uso de argumentos de autoridade (pp. xxv e xxvi). Vejamos esses exemplos.

Quanto à redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas, Martins afirma que isso é muito comum em livros didáticos, como exemplifica: “Em 1668, Francesco Redi, biólogo e médico italiano, demonstrou experimentalmente que a geração espontânea não podia ser verdadeira” (MARTINS, 1998 apud MARTINS 2006). E assim discute que está implícito em textos desse tipo, que a ciência é feita

por grandes personagens, é constituída por eventos ou episódios marcantes, que são “descobertas” realizadas por cientistas; que cada mudança na ciência ocorre em data determinada e que o fato descrito é totalmente independente de outros fatos e que pode ser estudado isoladamente. Em contrapartida Martins, afirma que em história da ciência essas concepções são insustentáveis. Para o autor, as alterações históricas são lentas, graduais e difusas, são resultados da soma de esforços de vários cientistas em esforço coletivo, e não resultado de trabalho individual de um “grande gênio”.

Para as concepções errôneas sobre o método científico, Martins aponta como mais um exemplo a falta de preparo de professores, mesmo em níveis universitários: não compreendem a natureza da ciência. Há uma crença, segundo o autor, no método indutivista da investigação científica, baseado num tipo de positivismo que seria o pior, segundo Martins. “Pasteur *provou*, através de seus experimentos, que a geração espontânea não existe” (op. cit., p. xxvi, ênfase no original), o que não corresponde à verdade histórica e, segundo Martins, um tipo de história da ciência resumida, simplificada e distorcida. Para solucionar esse equívoco, o autor pede cuidado com o estudo da história da ciência, e que não se utilize anedotas e lendas, mas sim, exemplos históricos reais.

Um outro equívoco comum no uso de história da ciência em ensino é o uso como argumento de autoridade e Martins exemplifica com “Embora a gente não entenda direito a teoria da relatividade, ela foi estabelecida pelo grande físico Albert Einstein...” e também com a frase “Todas as características dos animais vão se alterando com o tempo, de acordo com a teoria da evolução de Darwin”. Esse tipo de afirmação não contribui para a melhoria do ensino de ciências, antes atrapalha muito, pois cria no estudante um senso de crença científica, tão problemática quanto à crença em superstições, tornando o próprio conhecimento científico uma forma de superstição. Para resolver esse tipo de erro, Martins sugere que há apenas um caminho, e seria através do estudo da história da ciência, estudar o contexto científico, estudar as bases experimentais, criação (ou invenção), justificação, discussão e difusão de ideias, são alguns pontos importantes para o autor.

Apenas desse modo é possível aprender como uma teoria foi justificada e por quê foi aceita. Ao mesmo tempo, aprende-se muito sobre a natureza da ciência. Isso, no entanto, não é feito recorrendo-se apenas a livros populares sobre história da ciência. É preciso estar informado sobre as melhores pesquisas historiográficas, para poder conhecer os inúmeros detalhes relevantes. (MARTINS, 2006, p xxvii)

Assim, nesse texto introdutório ao livro “Estudo de História e Filosofia das Ciências – subsídios para aplicação no Ensino”, Martins sentencia que quem quer trabalhar com história da ciência no ensino tem que ter cuidado.

Há muitas armadilhas, e exige-se o uso de conhecimento epistemológico e historiográfico especializado para evitar alguns erros que poderiam levar o professor a empregar erroneamente a história da ciência para transmitir uma idéia de ciência totalmente inadequada, como ocorre muitas vezes. É necessário, por isso, um trabalho de *pesquisa* para fundamentar um adequado uso da história da ciência no processo educacional. (MARTINS, 2006, p. xxvii, ênfase no original)

E Martins continua seu texto salientando como um pesquisador pode tratar do assunto de história da ciência no ensino:

É impossível para uma pessoa, sozinha, conhecer profundamente toda a história das ciências – ou mesmo de uma das ciências. Por isso, o próprio desenvolvimento de aplicações da história da ciência ao ensino exige um trabalho coletivo, que não poderá ser realizado em um tempo curto. (MARTINS, 2006, p xxvii)

Assim, para um trabalho que se pretende ser sério com relação à história da ciência, é necessário, segundo Martins, um cuidado que se pretende no presente trabalho de pesquisa. Pesquisa historiográfica aos artigos originais, ajuste dos textos para uma leitura adequada dos estudantes, cuidado em buscar manter a história real e fugindo dos mitos. Porém, mesmo com esses cuidados, o material didático podendo ficar bom, a aplicação necessita de outras características importantes. Por isso, utilizamos um olhar histórico da ciência em uma Sequência de Ensino Investigativo, que veremos mais adiante. Valorizando o uso dos recursos de história da ciência para se compreender a natureza da ciência e também, com o uso de argumentação em sala de aula, se buscar uma alfabetização científica se processando em sala de aula.

3. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Antes de continuarmos é importante fazer uma pausa para discutir o significado do termo Alfabetização Científica. Na literatura existem vários termos que podem ser utilizados em diversas línguas, principalmente nas línguas portuguesa (de Portugal), inglesa, espanhola e francesa. Como veremos a frente, textos de organizações continentais (como a OECD⁶, responsável pelo programa PISA) têm termos diferentes em suas línguas oficiais para o mesmo texto.

3.1. Sobre o termo *Alfabetização Científica*

A Alfabetização Científica pode não ser o melhor termo que podemos ter quando queremos tratar do ensino de ciências em sala de aula, mais por ser controverso que por ser insuficiente. Porém, outros termos não são bons também, pois não são muito utilizados por diversos motivos, mas principalmente pelo motivo de não carregar todas as intenções do pesquisador que os utiliza para o leitor desses trabalhos. São termos como letramento científico, enculturação científica, competência científica, compreensão pública da ciência, cultura científica, engajamento público com a ciência, alguns apontados por Douglas Roberts (2007). Cada um desses termos tem seus prós e contras, e assim tivemos que fazer uma escolha do termo a ser utilizado. O termo Alfabetização Científica foi escolhido devido à proximidade das nossas concepções acerca das competências que uma pessoa deva ter com a definição do educador Paulo Freire, pois para ele a alfabetização é uma chave para abrir a comunicação escrita, e mais:

Só assim a alfabetização cobra sentido. É a consequência de uma reflexão que o homem começa a fazer sobre sua própria capacidade de refletir. Sobre sua posição no mundo. Sobre o mundo mesmo. Sobre seu trabalho. Sobre seu poder de transformar o mundo. Sobre o encontro das

⁶ OECD *Organisation de Coopération et de Développement Économiques* (do original francês) – OCDE Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (tradução nossa)

consciências. Reflexão sobre a própria alfabetização, que deixa de ser assim algo externo ao homem, para ser ele mesmo. Para sair de dentro de si, em relação com o mundo, como uma criação. (FREIRE apud BRANDÃO, 1981)

E o educador Paulo Freire continua em seu texto reforçando a importância do trabalho da alfabetização:

Só assim nos parece válido o trabalho da alfabetização, em que a palavra seja compreendida pelo homem na sua justa significação: como uma força de transformação do mundo. Só assim a alfabetização tem sentido. Na medida em que o homem, embora analfabeto, descobrindo a relatividade da ignorância e da sabedoria, retira um dos fundamentos para a sua manipulação pelas falsas elites. Só assim a alfabetização tem sentido. Na medida em que, implicando em todo este esforço de reflexão do homem sobre si mesmo e sobre o mundo em que e com que está, o faz descobrir que o mundo é seu também, que o seu trabalho não é a pena que paga por ser homem, mas um modo de amar - e ajudar o mundo ser melhor. (FREIRE apud BRANDÃO, 1981)

Os outros termos⁷ que Douglas Roberts (2007) elenca são definidos com sentidos semelhantes, ou seja, o de definir melhor como um aluno pode tornar-se um cidadão que possa discutir e entender a ciência através da linguagem. Em nosso trabalho decidimos utilizar o termo Alfabetização Científica e a sigla AC para que o leitor lembre que apesar da tradução do texto fornecer outro termo (como letramento científico ou compreensão pública da ciência), ainda utilizaremos a sigla AC. Vejamos alguns casos em que é possível verificar as ideias de Roberts com textos de outros autores e fundações, como exemplo a seguir trazemos as definições de Alfabetização Científica da Fundação Nuffield e da OECD para o programa PISA.

Para a Fundação Nuffield, o termo letramento científico (AC), que pode ser visto no site da organização (<http://www.nuffieldfoundation.org/scientific-literacy>, acessado em 01/01/2012), é definido como “the knowledge and skills to be expected of a scientifically literate person” (o conhecimento e as habilidades que são esperadas para uma pessoa cientificamente letrada., tradução nossa). E continua a definição, detalhando melhor o que se espera de uma pessoa cientificamente letrada, nas suas palavras,

Nós podemos esperar que uma pessoa letrada cientificamente seja capaz de:

- Appreciar e compreender o impacto da ciência e da tecnologia no cotidiano;
- Tomar decisões pessoais embasadas sobre coisas que envolvem ciência, como saúde, dietas, usos de fontes de energia;
- Ler e compreender os pontos essenciais em reportagens de meios de comunicação sobre assuntos que envolvem ciência;
- Refletir criticamente sobre as informações apresentadas e, (frequentemente mais importantes), as informações omitidas das reportagens sobre ciência; e
- Tomar parte confiante em discussões com outras pessoas sobre artigos envolvendo ciência.⁸

Segundo a Fundação Nuffield ainda, a maioria das pessoas podem ser consumidoras e não produtoras de ciência, de novos conhecimentos científicos. E mesmo assim, essas pessoas podem ser usuárias e consumidoras bem informadas desses novos conhecimentos científicos, mesmo que não utilizem a ciência no cotidiano (NUFFIELD, op.cit.).

Outra definição para letramento científico (AC) pode ser encontrada no texto do programa PISA, da OECD:

Letramento científico é a capacidade de usar o conhecimento científico, de identificar questões a desenvolver conclusões baseadas em evidências de forma a entender e auxiliar a tomada de decisões sobre o mundo natural e as mudanças que esse mundo sofre através da atividade humana.⁹

É interessante notar que o termo em espanhol não é letramento científico, como temos traduzido do inglês “scientific literacy”, mas sim, “competencia científica” (OECD, 2004), e essa diferença pode ser encontrada nas versões do texto em inglês e espanhol desse material, disponível na internet.

Comparando com a definição da alfabetização por Paulo Freire, estas definições da Fundação Nuffield e do projeto PISA estão bem estruturadas, mas são pouco abrangentes e carregam uma formalidade e uma síntese que pode implicar em interpretações muito simples e pouco profundas. A definição de alfabetização de Paulo Freire é abrangente, mas peca na preocupação com a escrita, deixando de

⁷ *scientific culture, la cultura scientifique, public understanding of science, public engagement with science*

⁸ <http://www.nuffieldfoundation.org/scientific-literacy>, acessado em 01/01/2012; tradução nossa

lado, por exemplo, a linguagem falada e a linguagem gráfica. E para o nosso caso queremos estudar apenas a alfabetização científica, ou seja, focalizar o termo alfabetização no âmbito da compreensão do desenvolvimento da ciência e das suas consequências.

Ainda podemos ter duas visões da Alfabetização Científica. Uma ligada mais propriamente ao termo “Alfabetização” e outra ligada mais ao termo “Científica”. Douglas Roberts (2007) discorre sobre essas duas visões da alfabetização científica. Na primeira visão, o termo “scientific literacy” é visto como a alfabetização científica do cientista, como um termo canônico, por exemplo, em um diálogo entre dois pesquisadores em Física Básica, o termo “wronskiano” é utilizado comumente para considerar uma forma de resolução de problemas em Física-Matemática. aos indivíduos, cuja alfabetização científica seja esta, o uso desses termos não é estranho, mas possivelmente o é entre pesquisadores em Ensino de Física, uma vez que estariam ligados à segunda visão do termo “scientific literacy”.

Para a segunda visão, segundo Roberts, o termo alfabetização é mais destacado, de forma que a ciência seja discutida em linguagem coloquial, quase como divulgação científica. Nesse caso, um indivíduo comum, alfabetizado cientificamente pode participar de um debate sobre um problema acerca dos prós e contras dos usos de fontes renováveis e não-renováveis de energia. Não utilizará de termos técnicos, mas estará utilizando, todavia, informações baseadas em dados, decorrentes de suas leituras sobre o assunto.

Assim, ao nosso ver, uma pessoa que tenha alfabetização científica é aquela que possa construir suas argumentações com bases sólidas em ideias e conceitos científicos. Suas opiniões são frequentemente fundamentadas em dados e garantias estruturadas na ciência, de forma que em debates e discussões com seus pares possa colocar-se de forma clara e concisa.

E essa nossa visão de AC é muito próxima da segunda visão de AC proposta por Roberts (2007). E também próximo do que Paulo Freire entendia como

⁹ www.oecd.org/pages/0,3417,en_32252351_32236102_1_1_1_1_1,00.html, acessado em 01/01/2012; tradução nossa

alfabetização, ou seja, que “a palavra seja compreendida pelo homem na sua justa significação: como uma força de transformação do mundo” (FREIRE apud BRANDÃO, 1981).

Na nossa visão, uma pessoa que tenha boa AC compreende as palavras, os termos, os conceitos científicos, podendo ter opinião sobre o mundo em que vive e, certamente, fazendo ouvir as suas argumentações para provocar a transformação do seu mundo. Iniciando pela própria transformação nas suas próprias opiniões e atitudes, por exemplo quando compreende a necessidade de se separar o lixo, reaproveitando e reciclando objetos que antes iriam para o lixo comum. Assim então suas mudanças internas provocariam mudanças externas. Partindo do seu lixo separado e, em seguida, movimentando a sua comunidade na pressão sobre o poder público na direção de ter coleta seletiva de lixo em sua localidade. Ações como essas ajudam a reduzir o consumo de energia e o descarte incorreto de lixo, reduzindo a pressão humana sobre o aquecimento global.

4. ARGUMENTAÇÃO

Uma forma de promover o desenvolvimento do conhecimento científico em sala de aula é a argumentação. E não somente isso, “a argumentação é a avaliação do conhecimento a partir das provas disponíveis” (tradução nossa) segundo as pesquisadoras Maria Pilar Jiménez Aleixandre e Blanca Puig (2010, p. 11). Elas ainda reforçam a afirmação considerando que a União Européia e o PISA consideram três competências científicas como:

1. Identificar perguntas e questões científicas.
2. Explicar ou prever fenômenos aplicando o conhecimento científico.
3. Utilizar provas para elaborar e comunicar conclusões e para identificar os raciocínios que as sustentam. (2010, p.11, tradução nossa)

Podemos encontrar paridade de intenções nos PCN, pois também neles encontramos encorajamento e orientação para desenvolver competências no discurso feito em sala de aula. Para o aluno “dominar a linguagem da Física é necessário ser capaz de ler e traduzir uma forma de expressão em outra...”, e essa forma é o discurso, uma forma de argumentar suas ideias, “através de um gráfico ou de uma expressão matemática, aprendendo a escolher a linguagem mais adequada a cada caso” (BRASIL, 1999, p. 27). Em uma aula de Física

.... devem ser promovidas as competências necessárias para a avaliação da veracidade de informações ou para a emissão de opiniões e juízos de valor em relação a situações sociais nas quais os aspectos físicos sejam relevantes. Como exemplos, podemos lembrar a necessidade de se avaliar as relações de risco/benefício de uma dada técnica de diagnóstico médico, as implicações de um acidente envolvendo radiações ionizantes.... (BRASIL, 1999, p. 28)

Competências essas, que podem ser trabalhadas promovendo a problematização de situações científicas entre os alunos, repassando a autoridade e a “responsabilidade de discussão dos temas e fornecendo fontes para suas pesquisas” Engle e Conant (2002) propõem esses quatro princípios para desenvolver o engajamento dos alunos na aula. Os pesquisadores acreditam que é possível “fazer algo” de interessante em sala de aula, quando se tem uma situação de engajamento disciplinar produtivo:

1. Problematização: os estudantes são encorajados a discutir problemas intelectuais [preferimos o termo “desafiadores”]
2. Autoridade: os estudantes recebem autoridade para direcionar os problemas propostos.
3. Responsabilidade: o trabalho intelectual dos estudantes é produzido através da responsabilidade com os outros [do grupo, da classe, da turma] e com as normas disciplinares
4. Fontes: os estudantes são providos de fontes suficientes para a execução de toda a tarefa (pp. 400 e 401, tradução nossa)

4.1 Padrão de Argumentação de Toulmin

O padrão que Stephen Edelston Toulmin propôs em 1958 para os usos do argumento é em princípio o padrão que podemos perceber em qualquer interação verbal. Em seu livro, o autor discute os argumentos que são utilizados na área do direito, mas depois os expande para todos os casos em que possam ocorrer discussões e debates acerca de idéias. Para Toulmin (2006), o argumento pode ter um modelo com os dados (D), as garantias (G) e as conclusões (C) necessárias para um debate. Segundo Toulmin, se quisermos chegar a alguma conclusão, precisaremos levar em consideração os dados do problema num formato “se **D** então **C**, devido a **G**”. Ou de outra forma: “como obtivemos os dados **D**, considerando também que temos as garantias **G**, então somente é possível concluir **C**”. Mas ainda não são suficientes essas considerações. Toulmin demonstra que existem qualificadores modais (**Q**) para se chegar a certas conclusões. Nem todas as conclusões são necessariamente absolutas, pois se é possível assumir que uma conclusão somente pode ser tirada devido a certos dados, com as devidas garantias, isso nem sempre ocorre. Existem casos em que uma conclusão precisa de um qualificador do tipo “provavelmente” ou “possivelmente” (Toulmin, 2006, p. 144). As garantias podem oferecer possibilidades de refutação (**R**), também. Pelo mesmo motivo de que nem sempre existem conclusões absolutas, não existem garantias absolutas e que não possam ser refutadas. Finalmente, devem-se identificar quais são os apoios que as garantias têm, em qual base (**B**) estariam apoiadas.

Figura 1: Padrão de Argumentação de Toulmin

Neste ponto é importante destacar o texto das pesquisadoras Lúcia Sasseron e Anna Maria Pessoa de Carvalho, pois relatam uma relação entre os indicadores da Alfabetização Científica e os padrões de argumentação de Toulmin:

Uma característica interessante das argumentações merece ser destacada e comentada aqui: temos percebido uma relação bastante intensa e profícua entre o aparecimento e uso dos indicadores da Alfabetização Científica e o padrão de argumentação de Toulmin (SASSERON e CARVALHO, 2011)

Na Alfabetização Científica (AC) pode-se elencar várias habilidades, podendo obter várias listas delas. Na sua tese, podemos encontrar as proposições de alguns autores sobre as habilidades necessárias para a AC: reconhecer que o saber científico não é rígido; distinguir mito e folclore de dados; compreender a relação entre o corpo científico e a sociedade; compreender a interdependência da sociedade e da tecnologia; etc. E os indicadores de alfabetização científica propostos por Lúcia Sasseron (2008) podem ser utilizados para se saber “se e como estas habilidades estão sendo trabalhadas” (p. 67). Os indicadores de AC propostos pela autora são: seriação de informações; organização de informações; classificação de informações; raciocínio lógico; raciocínio proporcional; levantamento de hipóteses; teste de hipóteses; justificativa; previsão; e, finalmente, explicação.

4.2 Complexificando a Argumentação

Quando promovemos um debate entre os estudantes é possível observar se ocorrem ou aparecem os indicadores de Alfabetização Científica. Com uma sequência didática preparada para que se promova a argumentação em um padrão, especificamente de Toulmin (TAP, Toulmin Argument Pattern) esperamos que se tivessem ciclos argumentativos em cada bloco de atividades. Porém não somente isso, mas também ciclos que se encadeiam para juntos servirem para um ciclo maior: de pequenos ciclos para grandes ciclos. Inicialmente pensamos em ciclos e epiciclos, mas o termo “epiciclo” ficou desfavorecido por recordar os problemas das órbitas dos planetas na Astronomia, o que não desejamos.

Segundo Sasseron e Carvalho (2011), a presença e o surgimento de indicadores de Alfabetização Científica durante uma sequência de debates e discussões implicam numa clara existência de um ciclo argumentativo. A análise feita pelas autoras de alguns turnos de debates de alunos levaram à conclusão de que:

Ao constatar a presença e o aparecimento dos indicadores da Alfabetização Científica durante a sequência dos turnos analisados, temos clara a existência de um ciclo argumentativo envolvendo a divulgação da construção do entendimento de um conceito ou de um tema pelos alunos. Entendemos este ciclo argumentativo como *a forma por meio da qual as argumentações se desencadeiam e a maneira como as relações entre diferentes dados e variáveis são estabelecidas*. (idem, grifo no original)

Então, em nosso trabalho, tentamos propor aos estudantes atividades que necessitam de seguir um roteiro que exija seriação de informações, organização de informações, classificação de informações, raciocínio lógico, raciocínio proporcional, levantamento de hipóteses, teste de hipóteses, justificativa, previsão e explicação, através de demonstrações investigativas, experimentação investigativa, leitura e discussão de textos históricos, debates sobre experiências mentais. Assim promovendo três passos que são característicos do ciclo argumentativo: primeiro os estudantes, de posse das informações obtidas (através de demonstração, experiência ou leitura de texto) podem ordená-las convenientemente, através de suas discussões, de forma que se torne clara a importância de cada informação; no segundo passo os estudantes verificam as variáveis do problema, propondo

hipóteses com as respectivas justificativas, inclusive propondo previsões; o terceiro passo do ciclo é caracterizado pelas explicações, chegando a construções lógicas, objetivas e racionais como indicam Sasseron e Carvalho (ibidem).

Como em cada bloco estão presentes atividades que favoreçam esses passos, e necessariamente, para se chegar ao conceito Quântico sobre a caracterização do elétron, entendemos que existam ciclos pequenos nos blocos Partículas e Ondas, que serão retomados no bloco Física Quântica, como um grande ciclo, que retoma construções feitas nos outros ciclos, sendo composto por estes e ampliado com essa discussão. Um evento interessante, que pode ser associado a uma consequência da emergência, dentro do caos determinístico: o todo pode ser mais sagaz que a soma das suas partes (FIEDLER-FERRARA, 2005). Se realmente será mais sagaz somente com mais testes veremos, e estimulamos professores da rede e de nosso grupo de pesquisa em testar e verificar a validade desse uso dos ciclos argumentativos pequenos e grandes. E é interessante notar que utilizamos os indicadores de Alfabetização Científica como guias na montagem da nossa sequência, e nas análises póstumas das interações entre alunos e entre alunos e professor também serão utilizados, de forma a verificar a validade da sequência.

5. SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Quais são os aspectos a serem destacados na produção de uma sequência de ensino para que ela seja uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI)? O que entendemos como Alfabetização Científica e como podemos favorecer seu desenvolvimento em atividades em sala de aula? Quais são os processos de Argumentação que podem ser favorecidos na SEI e que podem servir de apoio para se verificar a Alfabetização Científica?

Neste capítulo pretendemos utilizar essas questões para direcionar os textos, de forma a embasar teoricamente nosso trabalho. Inicialmente, iremos verificar quais aspectos de uma sequência de ensino são encontrados na literatura para que possamos obter uma SEI; depois, o que entendemos e como é definida a Alfabetização Científica na literatura; finalmente, como são os processos de Argumentação que podem ser promovidos e verificados na interação aluno-aluno e professor - aluno.

5.1 Alguns pontos fundamentais para uma SEI

Quando o professor planeja atividades com os seus alunos de forma dirigida, ele está propondo uma sequência didática. Essa sequência pode ser feita de diversas formas, e as mais comuns são aquelas com o uso de giz, lousa, caderno e livros, ou seja, sem a participação ativa dos alunos. Como afirma Paulo Freire (1996), “não há docência sem discência”. E em outro momento, então, o professor poderá se tornar um “falso sujeito da formação” do futuro objeto do seu ato formador (FREIRE, 1996).

O professor que se entende como aprendiz no processo de formação estará mais apto a se compreender como formador, incompleto, mas um formador, ou seja, que desde os começos do processo, vá ficando cada vez mais claro que, embora diferentes entre si, quem forma se forma e re-forma ao

formar e quem é formado forma-se e forma ao ser formado. É neste sentido que ensinar não é transferir conhecimentos, conteúdos nem formar é ação pela qual um sujeito criador dá forma, estilo ou alma a um corpo indeciso e acomodado (idem, p. 23)

Então, ter somente uma sequência didática não é necessariamente ter acesso a uma ferramenta que possibilita a Alfabetização Científica. Numa sala de aula, o estudante está interagindo com outros colegas e com o professor em diversas atividades, algumas dessas atividades sendo dirigidas por alunos ou pelo professor, como em uma sequência didática, por exemplo. Podem existir e se criar várias sequências didáticas, mas como nem todas as sequências que podem ser propostas necessariamente almejam a Alfabetização Científica, uma Sequência de Ensino Investigativa tem necessariamente esse aspecto, entre outros.

Para montar uma SEI, precisamos considerar alguns aspectos relevantes, que a pesquisadora de Ensino de Ciências, Anna Maria Pessoa de Carvalho em um trabalho recente e de compilação das teorias sócio-interacionistas (CARVALHO, 2011; 2013), propôs para uma elaboração de sequências de ensino investigativas. Quatro pontos são importantes para fundamentar o planejamento de uma SEI:

- da importância de um problema para um início da construção do conhecimento;
- da ação manipulativa para a ação intelectual;
- a importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento, e;
- as diferentes etapas das explicações científicas.

Vejamos, então, cada uma detalhadamente.

5.1.1 Da importância de um problema para um início da construção do conhecimento

Carvalho frisa que este ponto é fundamental e que pode ser encontrado nos trabalhos de autores com viés piagetiano. Sempre se inicia a atividade com um indivíduo através de questões propostas, de forma a favorecer a organização do

pensamento desse indivíduo. Segundo a autora, Bachelard (1938, apud CARVALHO 2011) também apresenta essa preocupação com o início da construção do conhecimento quando ele afirma que “todo conhecimento é a resposta a uma questão”.

Para Paulo Freire, a educação deve ser libertadora, e para tanto deve ser problematizadora. Não está ligada ao ato de depositar, de narrar, de transferir ou de transmitir conhecimentos e valores aos educandos, meros pacientes no modo da “educação bancária”, mas antes ligada a um ato cognoscente, e continua:

Como situação gnosiológica, em que o objeto cognoscível, em lugar de ser o término do ato cognoscente de um sujeito, é o mediatizador de sujeitos cognoscentes, educador e educandos, de outro, a educação problematizadora coloca, desde logo, a exigência da superação da contradição educador - educandos. (FREIRE, 1987)

E sem a superação dessa contradição, segundo Paulo Freire, não é possível a relação dialógica “indispensável à cognoscibilidade dos sujeitos cognoscentes, em torno do mesmo objeto cognoscível” (idem).

5.1.2 Da ação manipulativa para a ação intelectual

Segundo Carvalho (2011; 2013) é necessária a criação de espaços nas aulas de Ciências para que o estudante possa desenvolver e percorrer as passagens das ações manipulativas para as intelectuais e também o percurso inverso, das ações intelectuais para as manipulativas, para a construção de outras hipóteses. O desenvolvimento dessas hipóteses é que levará o indivíduo a uma ação manipulativa modificada, conforme é possível observar nos trabalhos de Piaget, que sempre apontou essa necessidade de se construir a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual.

Como não foi o que ocorreu nos últimos anos, o que tivemos foi o aumento do uso de material apostilado, resumido e completamente voltado à preparação para concursos vestibulares no Ensino Médio desde a década de 1970, a experimentação em sala de aula reduziu drasticamente (GASPAR, 1998). Apesar de parecer

redundante ainda a justificativa de incentivar a produção e uso de atividades experimentais, exploratórias e manipuláveis (SAAD et al, 1995), se faz presente e atual a insistência na questão (MENEZES, 2000; MACEDO, 2003).

O uso de apostilas de cursos preparatórios para vestibulares como materiais didáticos para o ensino de física em sala de aula forçou as editoras de livros a percorrerem o mesmo caminho. Uma experiência válida foi a produção dos livros de Física para professores do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF, 1995, 1996, 1999), mas ainda falta uma melhor formatação da experimentação indicada além dos “aspectos históricos da evolução da Ciência e do sistema produtivo” (GREF, 1999).

Além disso, livros didáticos utilizados na formação inicial de professores nas faculdades e universidades (em particular no Instituto de Física da USP) não promovem o uso nem o desenvolvimento de atividades ou experimentos em Física (NUSSENZVEIG, 1981; KITTEL et al, 1970; HECHT, 1986; MARION, 1995; EISBERG, 1994; ROCHA et al, 2002). As apostilas utilizadas nos laboratórios (IFUSP, 1991, 1992, 1994, 1995, 1996) auxiliam na formação científica do futuro professor, mas em absoluto o preparam para as condições adversas de uma rede pública de ensino. Na década de 1980, o IFUSP montou um laboratório circulante (SAAD, 198?) e as apostilas até forneciam material para montagem de experimentos, mas a idéia central era a formação experimental do aluno do curso de Física que não conhecia as experiências mais comuns desta Ciência. Assim, sair de atividades de “giz e lousa” e exercícios de repetição em livros e apostilas é imprescindível para um bom projeto de SEI.

5.1.3 A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento

Espontaneamente, a tomada de consciência pelos indivíduos, mais especificamente pelos alunos, não ocorre sempre, porém é um aspecto muito importante, essencial na construção do conhecimento científico. Assim, favorecer o

surgimento dessa tomada de consciência é papel do professor em uma sala de aula de Ciências, e isso se dá através do uso de perguntas e questões propostas aos alunos. O trabalho desses alunos em resolver o problema proposto é que os levará à tomada de consciência de que seus atos constroem o conhecimento.

Para Edgar Morin, um dos sete saberes necessários à educação do futuro é a pertinência do conhecimento. Para ele, esse é um problema universal de qualquer cidadão desse novo milênio,

... como ter acesso às informações sobre o mundo e como ter a possibilidade de articulá-las e organizá-las? Como perceber e conceber o Contexto, o Global (a relação todo/partes), o Multidimensional, o Complexo? (MORIN, 2004, p. 35, ênfase no original)

E então, para o autor, para se atingir esse ponto é necessária uma reforma. Não uma reforma programática, mas antes paradigmática, uma vez que é a questão fundamental da educação, pois está relacionada à aptidão de organizar o conhecimento. E para tanto é necessária a tomada de consciência dos atos do educando para a sua construção do conhecimento.

Finalmente, em uma educação dialógica, em que o debate de ideias é imprescindível, Freire (1987) deixa claro que “ninguém educa ninguém, ninguém educa a si mesmo, os homens se educam entre si, mediatizados pelo mundo”. Um aluno não conseguirá tomar consciência sozinho de que seus atos são pertinentes na construção do seu conhecimento, será necessário um professor, ou a vida, o mundo numa forma mais geral, como afirma Paulo Freire.

5.1.4 As diferentes etapas das explicações científicas

As questões que o professor propõe aos alunos precisam produzir discussões que cheguem à etapa das explicações científicas. Ao tentar explicar um fenômeno os alunos começam a se tornar protagonistas da solução, deixando de ser meros expectadores. Nessa etapa, os alunos deixam de se descreverem como agentes do

processo e passam a descrever o fenômeno como um agente ativo. Alguns alunos seguem mais além, sugerindo novas palavras ou palavras com novos conceitos, de forma a explicar melhor o que é observado do fenômeno. Ao serem questionados sobre o sucesso da resolução do problema buscam outras palavras, pouco usadas, em seu vocabulário, e segundo Carvalho (2011) é o início da conceitualização e afirma:

Na sala de aula de Ciências o professor deve ter consciência dessa possibilidade ajudando os alunos na conceitualização do conteúdo e não esperando que todos cheguem sozinhos a essa etapa.

Não se pretende criar em sala de aula pequenos cientistas, muito menos esperar que todos os jovens educandos saiam da Educação Básica para áreas científicas nos cursos superiores. Por isso não se colocam aqui regras para ensino de fórmulas, equações ou gráficos, em uma SEI se pretende fomentar a Alfabetização Científica para todos os educandos, e não somente para aqueles que, de uma forma ou de outra, buscam uma formação científica. Para Cachapuz, Gil-Pérez, Carvalho, Praia e Vilches (2005) a Alfabetização Científica não é um desvio ou um rebaixamento do assunto científico para se tornar acessível a Ciência para a população, mas sim uma reorientação do ensino.

5.2 Os oito aspectos importantes para se elaborar uma SEI

Além desses quatro pontos essenciais para a elaboração de uma SEI, a autora aponta oito pontos que devem ser seguidos tanto por quem deseja planejar uma SEI (que possam ficar organizadas de tal forma a proporcionar condições para que as interações entre alunos e entre professor e alunos aconteçam), quanto no direcionamento do papel do professor como articulador e gerenciador durante esse processo de ensino. Extraímos esses pontos do capítulo que a pesquisadora escreveu e os relacionamos abaixo, pois são relevantes em nosso trabalho:

- 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) tem que ser significativo para o aluno;
- A relação ciência, tecnologia e sociedade;
- A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica;

Vamos discorrer agora um pouco mais sobre cada um desses componentes da SEI, para poder compreender em profundidade cada aspecto.

5.2.1 A participação ativa do estudante

Não é possível pensar em qualquer atividade para alunos sem que se tenha uma participação real do aluno. Em qualquer teoria construtivista, a ideia central é que o aluno construa seu próprio conhecimento. E essa participação ativa está implícita no construtivismo de Piaget e também nas teorias sócio-interacionistas, não há aprendizagem sem ação do sujeito.

5.2.2 A importância da interação aluno-aluno.

Quando alunos estão atuando em pequenos grupos em atividades em sala de aula, as interações sociais aparecem em maior destaque. Segundo a autora, em uma linha sócio-interacionista o trabalho em grupo torna-se muito importante. Os estudantes podem ter níveis de desenvolvimento real e linguístico assemelhados e isso favorece a comunicação entre eles, em especial sobre aspectos científicos e, segundo a autora, para Vigotsky a chave para o entendimento da ação humana, são as ferramentas e os símbolos, os chamados mecanismos semióticos ou simbólicos que medeiam a ação do sujeito sobre o objeto (CARVALHO, 2011).

Em discussão com seus pares, os alunos levantam, testam e refletem sobre as hipóteses em questão. A valorização do debate na interação aluno-aluno favorece o desenvolvimento da moralidade.

5.2.3 O papel do professor como elaborador de questões.

A construção de conceitos científicos com os estudantes em atividades de sala de aula é a tarefa cotidiana dos professores, e essa atividade favorece a participação ativa na criação do conhecimento. O professor precisa dar sentido para as explicações diversificadas apresentadas pelos alunos nas resoluções de problemas (experimentais, teóricos, de lápis e papel, leituras de texto), e para isso deve promover o questionamento entre os alunos, de forma a dar direcionamento ao raciocínio deles, questões do tipo:

- O que vocês fizeram? - direcionando a sistematização dos dados;
- Como vocês fizeram? - direcionando a tomada de consciência das ações tomadas e a tomar, e sistematizar as relações entre as variáveis do problema;
- Como vocês podem explicar isso? - direcionando a busca por justificativas e explicações para as observações

Com questionamentos como esses que o professor proporciona maiores oportunidades de participação e de promoção da argumentação nas aulas, aumentando também os meios de desenvolvimento do raciocínio e da habilidade de compreensão dos temas propostos para os alunos.

5.2.4 A criação de um ambiente encorajador.

Para atingir a plenitude das interações aluno-aluno e da promoção de questionamentos pelo professor é imperioso um ambiente encorajador. Assim, como Einstein, Feynman e Schönberg sempre reforçaram em suas aulas, não existe

pergunta tola, o aluno não deve se sentir bobo ao fazer perguntas simples em princípio. Para a autora um ambiente encorajador pode sofrer danos sérios com pequenas ações (gestos, palavras, atitudes e comportamentos) positivas ou negativas:

um aluno que recebe um “não você está errado” ou simplesmente o professor ignorar sua participação, terá muita dificuldade de participar novamente, isto é, nunca mais falará sobre o conteúdo do professor, mas irá importuná-lo sempre que possível. Ao aceitar as idéias do aluno, mesmo que totalmente erradas do ponto de vista do professor, procurando entender qual o raciocínio que o levou àquela conclusão e discutir idéias e não pessoas ajudam e muito a criação de um ambiente encorajador. (CARVALHO, 2011)

5.2.5 O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula.

O estudante não é uma tábua rasa ou cristal bruto, pronto para ser modificado pelo professor, depositando no aluno conteúdos e mais conteúdos sem significados. Não estamos tratando de uma “educação bancária” aqui. No ensino de Física, isso é muito importante, principalmente com relação à Física Moderna e Contemporânea: os alunos têm contato direto com muitas informações (corretas ou não) acerca de assuntos científicos. O professor precisa entender isso, e valorizar e desenvolver esse aspecto presente no Ensino Investigativo, criando espaço para as discussões em grupos pequenos, valorizando o surgimento e hipóteses a serem testadas pelo grupo, errados ou não.

5.2.6 O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno.

Se o aluno não percebe o significado do problema e de suas possíveis consequências, ele não se sente motivado. O aluno é quem constrói o seu conhecimento, que será a resposta de uma questão, de um problema. E se essa questão, esse problema, não for importante para o aluno, a construção do conhecimento pelo aluno será comprometida negativamente.

5.2.7 A relação ciência, tecnologia e sociedade.

Já há algum tempo a sociedade tomou ciência da relação entre o desenvolvimento científico e tecnológico e o desenvolvimento social. Em Física Moderna e Contemporânea isso está muito presente, principalmente depois das consequências desagradáveis da Segunda Guerra Mundial, especialmente no Japão. Atualmente, o desenvolvimento da nanotecnologia, de laboratórios gigantes e seus grandes projetos (como o LHC do CERN) trazem a tona questões como: “em nosso país há muitos miseráveis e famintos, não deveríamos aplicar o dinheiro para aplacar a fome e a miséria de uma vez por todas ao invés de levar um militar para o espaço?”; Ou ainda: “quais as relações entre o desenvolvimento da Física Quântica e a alimentação na mesa do cidadão comum?”

Segundo a autora, em outro texto:

A condição necessária, no ensino de um dado conteúdo de ciências, é que estas propostas inovadoras sejam compostas de atividades de ensino que permitam aos alunos combinar o conhecimento científico que está sendo ensinado com a habilidade de tirar conclusões baseadas em evidências, de modo a compreender e ajudar a tomar decisões sobre o mundo e as mudanças nele provocadas pela atividade humana. É necessário também que estas atividades possibilitem o engajamento reflexivo de estudantes em assuntos científicos que sejam de seu interesse e preocupação permitindo aos alunos compreenderem Ciências e suas tecnologias. Estas condições são necessárias, mas não são suficientes. (CARVALHO, 2007)

5.2.8 A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica.

Existem vários sistemas simbólicos disponíveis aos alunos. Sistemas como a linguagem falada e escrita, linguagem matemática, linguagem corporal, linguagem gráfica e pictórica podem ser utilizados para favorecer a construção, a descrição e a apresentação dos processos e dos argumentos científicos. São habilidades e competências a serem desenvolvidas desde cedo, desde o Ensino Fundamental, nas aulas de Ciências e o professor precisa saber como transpor o aluno da linguagem comum para a linguagem científica, num nível da segunda visão que é proposta por Roberts (2007).

E, finalmente, segundo a autora, Lemke mostra que ao ensinar ciência não queremos que os alunos simplesmente repitam as palavras como papagaios. Queremos que sejam capazes de construir significados essenciais com suas próprias palavras “...mas estas devem expressar os mesmos significados essenciais que hão de ser cientificamente aceitáveis” (LEMKE apud CARVALHO, 2011).

6. ESTRUTURANDO A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Quando pensamos em Alfabetização Científica de alguém, estamos nos referindo à capacidade desse mesmo alguém de discutir assuntos, em cuja temática esteja envolvida a Ciência diretamente, por exemplo, o uso da energia nuclear como fonte para uma matriz energética brasileira ou indiretamente, como quando a Ciência serve como base para sua argumentação sobre, por exemplo, justificar a destinação de recursos públicos para o desenvolvimento da obtenção de energia eólica em detrimento da energia nuclear. Dentro de nossa pesquisa pudemos encontrar várias referências acerca da AC em relação a várias habilidades, diferentes para cada diferente autor.

Dentre essas habilidades, algumas são muito significativas e devem ser destacadas como compreender os termos utilizados na Ciência e seus conceitos fundamentais, compreender a natureza da Ciência e as suas ligações com a ética e com as suas implicações políticas e compreender também as relações que existem entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente. As habilidades necessárias para que uma pessoa seja considerada alfabetizada cientificamente, em nossa opinião, encontramos em Sasseron (2008) e Sasseron e Carvalho (2008) como eixos estruturantes da AC. Nas palavras dessa pesquisadora

É interessante notar também que, embora haja listas diferentes sobre tais habilidades, os pontos discutidos nos trabalhos desta revisão, em seu âmago, explicitam informações comuns que nos permitem afirmar a existência de convergências entre as diversas classificações. Em nossa opinião, podemos agrupar estas confluências em três blocos que englobam todas as habilidades listadas pelos diversos autores anteriormente estudados.

Demos o nome de **Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica** para estes grupos pois, em nosso entendimento, estes três eixos são capazes de fornecer bases suficientes e necessárias de serem consideradas no momento da elaboração e planejamento de aulas e propostas de aulas que visando à Alfabetização Científica. (SASSERON, 2008, p. 64, ênfase no original)

E assim devem estar presentes em uma sequência de ensino para que possamos ter um favorecimento da promoção a Alfabetização Científica. Vamos agora verificar mais detalhadamente cada eixo.

6.1 Os eixos estruturantes da Alfabetização Científica

Como já vimos anteriormente, algumas habilidades são, ao nosso ver, importantes para que possamos considerar um indivíduo alfabetizado cientificamente. Em uma visão de crescente complexidade e de interrelacionamento, os eixos propostos por Sasseron (op.cit) trazem desde a simples compreensão dos termos e dos conceitos utilizados na Ciência, passando pelos fatores éticos e políticos, chegando às relações de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente. Ao nosso ver, essa classificação é muito satisfatória, e utilizamos estes eixos, propositalmente, ou não, quando pensamos em uma sequência de ensino que pretende formar indivíduos alfabetizados cientificamente.

A compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais é a base de um processo para se iniciar uma alfabetização científica. Se por um lado a alfabetização necessita de se conhecer as letras e os fonemas, a alfabetização científica necessita do conhecimento dos termos utilizados na área, dos conhecimentos necessários e dos conceitos fundamentais. Para almejar a alfabetização científica, o indivíduo necessita conhecer os símbolos utilizados pela Ciência, suas inter-relações e as regras que norteiam essas inter-relações. Não esperamos que todo indivíduo alcance todo o conhecimento científico apenas com uma sequência de ensino, principalmente os estudantes em atividades em sala de aula, mas que as vivências proporcionadas possam favorecer a alfabetização.

Como seria possível alguém falar sobre Física Quântica para um público leigo sem ajudá-lo a compreender os termos utilizados, começando, por exemplo, pela definição da palavra “quântica”. Quando pensamos em montar uma sequência de ensino temos que ter em mente o nosso público alvo, como é composto e qual a sua formação. Seria maçante descrever a origem e o significado da palavra “quântica” para Físicos Nucleares, mas nunca demais para historiadores, por exemplo.

Em uma sala de aula precisamos sempre rever conceitos e termos. Nossa experiência como docente reforça essa ideia. Assim, sempre que pensamos em iniciar um novo assunto, com uma atividade experimental ou dinâmica em sala, em um laboratório aberto, ou em uma demonstração investigativa (CARVALHO *et al.*, 1999), procuramos demonstrar aos estudantes a necessidade de se formar um

vocabulário novo, ajudando-os com novos termos e com a conquista de uma nova linguagem, passando de sua linguagem cotidiana para a linguagem científica.

Assim, em uma sequência de ensino, deve-se buscar favorecer a compreensão básica dos termos, do conhecimento e dos conceitos envolvidos se quisermos iniciar a alfabetização científica de nossos estudantes. Com esse início, é possível tratar de favorecer a compreensão da Ciência, como construção do Homem.

A ***compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática*** traz para uma sequência de ensino a possibilidade dos estudantes terem contato com o “fazer ciência”. Não no sentido de torná-los “mini cientistas”, mas de proporcionar a vivência dos debates que cercam o processo de pesquisa e desenvolvimento em meio acadêmico ou na indústria, por exemplo. Este eixo, estando presente em uma sequência de ensino favorece a quebra de paradigma quanto ao senso comum do “cientista gênio” que inventa a ciência, trazendo para a vivência do estudante o lado humano do cientista, do pesquisador. É uma das formas que nós pensamos em tratar este eixo em uma sequência é o uso de material histórico, com textos, vídeos, gravações, entre outros materiais que possam tratar o assunto em sala de aula. Outra forma, como já mencionamos, é a vivência em um meio ambiente semelhante ao da construção da Ciência em laboratórios.

Em uma sequência de ensino é necessário sair do lugar comum em que o cientista, o pesquisador, é visto como um gênio isolado e que a Ciência seja feita por pessoas que não são reais, ou são “semi-deuses” (como alguns alunos já nos disseram).

A nossa preocupação em inserir a História e a Filosofia da Ciência em uma sequência de ensino atinge os objetivos desse eixo, ao nosso ver, através de trabalhos em sala que estimulam o uso de textos históricos e de debates filosóficos acerca da Ciência. Além disso, o favorecimento de atividades relativas ao processo de investigação científica e do seu debate entre os seus pares em sala de aula, através de sequências de ensino que promovam atividades de laboratório aberto ou demonstrações investigativas.

Assim, os estudantes podem vivenciar um ambiente de pesquisa e desenvolvimento científico e das suas relações com a ética e com a política ao debater as causas e as consequências do trabalho científico. Já favorecendo assim a possibilidade de entendimento das relações da Ciência com a Tecnologia, com a Sociedade e com o Meio Ambiente.

O **entendimento das relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente** se faz necessário quando se almeja uma atitude positiva do indivíduo alfabetizado cientificamente. Quando favorecemos a compreensão de termos, conteúdo e conceitos científicos, e a compreensão da natureza da ciência e da suas relações com a ética e com a política em uma sequência de ensino, também favorecemos o entendimento das relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (CTSA).

Ao nosso ver, não é possível pensar em um indivíduo alfabetizado cientificamente que não compreenda as relações das atividades científicas com o desenvolvimento tecnológico, social e ambiental. Um desenvolvimento social, humanístico, não é possível em uma sociedade que age como detratora do ambiente em que vive.

Dessa forma, queremos que o mesmo ocorra em sala de aula, através de uma sequência de ensino. Assim, essa sequência deve favorecer não só o acesso aos primeiros eixos estruturantes, mas também favorecer o desenvolvimento deste último eixo, ou seja, que a sequência promova a vivência das relações CTSA através de atividades de interação discursiva na sala de aula, nas interações entre alunos e entre aluno e professor.

E como esses eixos podem ser encontrados em uma sequência de ensino? Ao nosso ver, essa sequência deve evidenciar o favorecimento de pistas. Para Sasseron (2008) e Sasseron e Carvalho (2008) essas pistas são Indicadores de Alfabetização Científica. Vejamos mais detalhadamente a seguir.

6.2 Indicadores de Alfabetização Científica

Inicialmente pensados para o Ensino Fundamental (SASSERON, 2008, p. 66), os Indicadores de Alfabetização Científica estão presentes no trabalho do cientista em seu laboratório. Não necessariamente todos, muito menos em uma sequência pré-definida, pois compreender a estrutura do pensamento científico não é fácil, como podemos ver em Kuhn (2003), por exemplo.

Na nossa visão, a Ciência não se processa de forma linear sempre, mas existem períodos de revoluções, pois são consequências das quebras de paradigmas comuns e aceitos por grande parte da comunidade científica. Mas existem períodos de calma, por assim dizer, nos quais o trabalho do cientista é executar a ciência normal, apropriada ao trabalho em sala de aula. Porém, para se mostrar as diferenças no desenvolvimento científico, e sair do lugar comum onde o cientista – gênio “cria” ou “descobre” a ciência a partir de uma ideia sua ou até do nada, entendemos que uma sequência de ensino necessita expor também as quebras de paradigmas. Isso é possível com o uso de textos históricos em sala de aula, com atividades e debates sobre o tema.

Apesar de pensarmos que uma sequência de ensino para o Ensino Médio precise de tudo isso, sempre serão necessários Indicadores de Alfabetização Científica, tanto para verificar o favorecimento de atividades da Ciência comum quanto dos eventos de quebra de paradigmas. É possível que existam mais indicadores de alfabetização científica com relação ao Ensino Médio, porém não está no escopo do nosso trabalho investigar se os indicadores que utilizaremos no trabalho sejam suficientes para a nossa análise. Eles são necessários para uma primeira aproximação de uma análise, e é assim que os tomamos aqui. Então, vamos ver cada indicador mais detalhadamente a seguir.

A **seriação de informações** é um indicador para a ação de tratamento de dados e informações preliminares. Para se iniciar uma investigação científica é necessário listar os dados e as informações que se sabe. Em sala de aula, é importante o professor estimular, através da sua sequência de ensino, a

estruturação de informações iniciando pela seriação delas, com anotações sobre características observadas ou esperadas.

A **organização de informações** está relacionada com a estruturação dos dados e das informações novas, obtidas da seriação de informações, durante o trabalho com as informações existentes ou com novas informações, podendo ser esperado tanto no início da proposição de um problema ou assunto, quanto ao final do processo, em uma retomada da questão, durante interações entre alunos, por exemplo.

A **classificação de informações** está relacionada com a busca de relações entre os dados obtidos. Pode ocorrer de formas diversas, não sendo necessário uma ordenação hierárquica de dados, uma vez que cada estudante, ou grupo de estudante, pode classificar os dados e as informações com a sua própria estrutura lógica, pertinente ao seu próprio desenvolvimento pessoal.

O **levantamento de hipóteses** aponta o momento em que os estudantes são estimulados, por uma sequência de ensino por exemplo, a elencar suposições acerca do tema proposto. Esse levantamento de hipóteses pode ocorrer em algumas situações dentro do trabalho de resolver um problema dado. Pode ocorrer durante a estruturação dos dados e das informações, durante a verificação de erros na execução da atividade, durante os debates acerca do tema que se está debatendo.

O **teste de hipóteses** representa a ação do estudante em provar suas ideias em atividade experimental ou em debate com os colegas de sala. Pode ocorrer durante a estruturação de informações, para colocar a prova suas ideias iniciais, pode ocorrer no trabalho empírico ou ainda no debate das informações obtidas com o trabalho experimental, por exemplo.

A **justificativa** deve aparecer sempre que o estudante apresenta suas ideias e é necessário embasá-las. Nesse embasamento, o estudante deve fornecer garantias, que são as suas justificativas para uma maior segurança às suas afirmações.

A **previsão** está relacionada com as expectativas que os estudantes têm acerca das futuras observações ou em debates teóricos ou em atividades empíricas.

A **explicação** está relacionada com a busca da relação entre as informações obtidas. Normalmente relacionada com a justificativa e a previsão, não prescinde deles para ser favorecida em uma sequência de ensino, por exemplo. Podendo ser favorecida ainda que preliminarmente, quando ainda não se estruturou todas as informações, sendo uma explicação sem bases, e que pode ser amadurecida durante o processo.

Além destes indicadores, Sasseron (2008) aponta outros como o **raciocínio lógico** e o **raciocínio proporcional**, que estão mais relacionados com o Ensino Fundamental, mas não necessariamente excluídos do Ensino Médio (nem do Superior), porém não estarão relacionados com a elaboração de uma sequência de ensino. Eles estão relacionados com a análise das interações na sala de aula. Aqui entraria também a possibilidade de estimular o **raciocínio hipotético – dedutivo** como sugere Lawson (2003, 2003). Como já afirmamos anteriormente, não está no escopo de nosso trabalho a sugestão de novos indicadores, porém devemos apontar que para trabalhos futuros deva-se rever os indicadores de AC para o Ensino Médio.

7. A METODOLOGIA DE TRABALHO

Ao propormos a aplicação da Sequência de Ensino Investigativa (SEI) a alguns professores de Física da rede estadual foi possível observar certa reserva. Nem tanto pelo conteúdo, mas antes pelo currículo. Convencer os professores de Física da SEESP a trocar parte de suas aulas pela SEI que estaremos propondo mais a frente não foi tarefa fácil. As mesmas dificuldades que tiveram Simon, Erduran e Osborne (2006) com professores da região metropolitana de Londres. Dentro do escopo de nosso trabalho não seria possível pesquisar os referenciais teóricos e teórico-metodológicos, criar a SEI, treinar professores em alfabetização científica e testá-la. Nossa preocupação em aplicar a SEI em nossas próprias salas de aula é que estaria fora do escopo do trabalho, ficando extenso demais para um trabalho de Mestrado. Assim o nosso trabalho tornou-se uma pesquisa teórica, com o intuito de responder nossa questão de pesquisa:

- **Quais os elementos presentes em uma Sequência de Ensino Investigativa que propomos podem proporcionar a Argumentação e a Alfabetização Científica entre os alunos do Ensino Médio?**

Para responder essa questão supomos que a nossa SEI, dentro do nosso referencial teórico, possa promover interações entre o professor e o ensino por investigação e entre o professor e a Física Quântica, através de uma abordagem investigativa que envolve atividades experimentais e histórico – filosóficas, além de leitura e discussão de textos, vídeos e animações.

Como parte da nossa metodologia de trabalho, elencamos parte da literatura pesquisada para apoiar o planejamento da nossa SEI – “E o elétron? É onda ou partícula?”. Do ponto de vista pedagógico, julgamos que seja necessária, inicialmente uma revisão dos conceitos da Física Clássica sobre partículas e ondas,

depois, uma revisão sobre a Mecânica Quântica (e suas interpretações mais usuais), a seguir, os aspectos de uma SEI que utilizaremos, finalmente os aspectos que são importantes para favorecer os processos de Argumentação nas atividades de sala de aula entre professor e alunos e entre alunos.

7.1 Uma primeira olhada nos blocos

Na nossa sequência propomos séries de atividades dispostas em encontros que promovem a recordação de conceitos físicos que já devem ter sido trabalhados em sala de aula. Para os estudantes, qualquer conceito, conteúdo ou ideia tratada e discutida há mais de dois meses representa algo remoto, portanto sempre é necessária a revisão de conceitos. Essa retomada dos conceitos ajuda os estudantes a terem novamente estas informações em mente, e isso é importante, pois as mesmas serão necessárias para as investigações que serão indicadas nas outras atividades e nas outras aulas.

Assim, é necessário preparar materiais que promovam uma visão ou uma revisão de conceitos, mas que estejam intimamente ligados aos novos conceitos em Física Quântica, fornecendo material conceitual necessário e suficiente, em princípio, para favorecer discussões e debates nos quais os indicadores de Alfabetização Científica sejam evidenciados.

A SEI foi planejada em quatro blocos (Partículas, Ondas, Física Quântica e Impacto da Ciência e da Tecnologia na Sociedade), carregando a intenção de que cada bloco seja explorado em dois a três encontros, cada encontro estimado na duração de uma aula. Porém, é importante que o professor que for aplicar a SEI, verifique se é ou não suficiente o tempo de aula para a aplicação de cada encontro (que será melhor descrito à frente), principalmente quando se quer fomentar a discussão e o debate de ideias, com o máximo de participantes possível. A experiência de sala de aula, em aulas com promoção de debates e discussões, nos mostra que o tempo de uma aula pode, em certos casos, ser insuficiente para um bom trabalho.

A SEI pretende promover as discussões, através dos textos adaptados e mediados pelo professor, da hipótese teórica, os fundamentos teóricos, os equipamentos disponíveis, como se deu a realização do experimento, quais foram os dados coletados (com tabelas e figuras), quais as dificuldades experimentais e a quais conclusões chegaram. Isso tudo em uma forma lúdica, porém correta, uma vez que as respostas dos entrevistados carregam em formato itálico os trechos reais dos artigos, na voz direta (ou o mais diretamente possível) do autor do artigo em tradução literal.

7.1.2 Bloco 1: De como trataremos as Partículas

Iniciamos a SEI com atividades relativas às partículas no primeiro encontro, evidenciando suas características, especialmente a possibilidade de definição de suas posição e trajetória. Para tanto, foi proposta uma atividade preliminar (“futebol de dedos”) com bolinhas de gude, com sugestões para as questões que o professor pode fazer para evidenciar as características das partículas.

No segundo encontro, devem trabalhar com um aparelho de difração de elétrons em baixa tensão, de tal forma que possam ver apenas um ponto na tela. Esse ponto pode ter sua posição modificada por um campo elétrico e por um campo magnético. E, nesse caso, o professor trata o problema sugerindo questões e guiando os alunos em discussões sobre a possibilidade de se utilizar o modelo de partículas para os raios catódicos.

É bom notar que historicamente JJ Thomson tratou, no seu artigo sobre raios catódicos, o que a comunidade científica mais tarde chamou de elétron. George Johnstone Stoney em 1874 já havia sugerido o nome elétron (ou átomo de eletricidade) à partícula que carregava eletricidade negativa, com uma boa descrição desse corpúsculo (STONE, 1874; STONEY, 1881), deixou claro que se tratava de novo objeto de estudo (com definição de valor de carga próximo ao valor conhecido).

Vale notar, ainda aqui, que o aparelho de raios catódicos não tem valor baixo para ser comprado por uma escola, porém incentivamos fortemente a parceria da

escola, do professor, com uma faculdade de Física da sua região. Uma outra sugestão é o uso de aparelhos virtuais, que podem ser adquiridos na internet gratuitamente. E neste caso, não será possível utilizar cargas elétricas ou ímãs para modificar trajetórias, mas ainda será possível discutir as características das partículas com os dados fornecidos pelos aparelhos virtuais.

No início do terceiro encontro será entregue aos estudantes um texto adaptado do artigo original de Joseph John Thomson (THOMSON, 1897), com se fosse uma entrevista, criada para parecer que tivesse sido feita para uma editoria de ciência de um jornal no ano 1940, e que servirá de base para as discussões acerca das características corpusculares dos raios catódicos. E, neste ponto, o professor poderá, durante as discussões, explicar que o nome elétron não era utilizado correntemente, pois as características dos raios catódicos eram ainda um pouco diferentes das características elencadas por Stoney. Portanto a figura do professor ser tão importante para o sucesso da sequência, uma vez que o professor será um elaborador de questões e incentivador de discussões e debates, que no caso deste encontro será principalmente em torno da questão: “Os raios catódicos podem ser considerados partículas?”

7.1.2 Bloco 2: De como trataremos as Ondas

No segundo bloco da SEI, no quarto encontro, os estudantes são convidados a estudarem as ondas e discutirem suas características de difração e interferência, exclusivas das ondas. Com uma forma retangular de bolo com bastante água (pouco mais que a metade da altura da forma), alguns parafusos com porcas e duas réguas, os estudantes poderão participar de um “futebol de ondas”, em que os alunos deverão evitar os gols do adversário (o gol será anotado como qualquer oscilação da água dentro da área do gol). E assim os alunos são orientados para o estudo (e uma revisão) das características das ondas, especialmente as de difração e interferência, que serão utilizadas mais adiante, tanto através dos lances que eles fazem para marcar os seus gols, quanto nas estratégias de defesa.

No quinto encontro, os estudantes são confrontados com o mesmo aparelho de raios catódicos (utilizado anteriormente), porém com tensão elevada, provocando o aparecimento de anéis concêntricos na tela, e que variam de tamanho e em quantidade com a variação de tensão. GP Thomson ainda trata os elétrons como raios catódicos (mesmo existindo textos anteriores nomeando-os como elétrons), tanto que o artigo original chama-se “Experiments on the Diffraction of Cathode Rays”. (Experimentos sobre a difração de raios catódicos, tradução nossa).

No início do sexto encontro, os estudantes recebem um texto adaptado (nos mesmos moldes descritos para o artigo de JJ Thomson) do artigo de George Paget Thomson e são estimulados pelo professor a debaterem o texto, apontando as características importantes (a hipótese teórica; os fundamentos teóricos; os equipamentos disponíveis; como se deu a realização do experimento; quais foram os dados coletados (com tabelas e figuras); quais as dificuldades experimentais; e a quais conclusões chegaram) e finalmente respondendo a questão: “Os raios catódicos podem ser considerados ondas?”.

7.1.3 Bloco 3: De como trataremos a Física Quântica

No terceiro bloco, no sétimo encontro, sugerimos a mostra de um vídeo do experimento de Tonomura, Endo, Matsuda, Kawasaki e Ezawa, em se é mostrado a obtenção paulatinamente, uma figura de difração de elétrons feita ponto a ponto. Cada ponto é o local da interação do elétron com o detetor. Após o vídeo sugerimos que se abra a discussão sobre o que foi visto. Se necessário, o professor poderá passar o vídeo novamente, pois é curto, com cerca de um minuto e dez segundos (foi editado, o original, segundo os autores do vídeo, entre eles o Tonomura, teria mais de uma hora de projeção).

No oitavo encontro o texto adaptado de Tonomura e sua equipe deve ser lido e discutido entre os alunos em pequenos grupos com orientações do professor. Após os debates em grupos, os estudantes são orientados a escrever sua interpretação para o que realmente é o elétron nas suas visões pessoais com a

questão: “E o elétron? É onda ou é partícula?”. Depois, todos os estudantes deverão entregar seus textos ao professor, não para uma avaliação formativa, mas sim, como guarda da memória e para que na atividade final os estudantes possam caracterizar suas interpretações de acordo com as mais utilizadas pelos cientistas.

E finalmente, no encontro de número nove, os estudantes podem verificar suas posições frente ao problema da dualidade onda-partícula com relação às interpretações mais aceitas e utilizadas pela comunidade científica. Na sequência ainda, sugerimos outro vídeo, de cerca de oito minutos, obtido na internet. Esse vídeo é parte de um filme (“Quem somos nós?” ; “What the Bleep do we know!?”), que apesar desse filme ser controverso, esse excerto em especial é uma animação com um personagem chamado “doutor Quântico” e que vale a pena trabalhar com ele, pois está bem feito, e eles receberão mais outro texto sobre interpretações da Física Quântica, compilados através do livro Conceitos de Física Quântica (PESSOA JÚNIOR, 2003). E então poderão finalmente, nessa última atividade, categorizar suas interpretações, sendo possível a não caracterização dentre as quatro interpretações sugeridas.

8. A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

A proposta de nosso trabalho é planejar uma Sequência de Ensino Investigativa que promova a discussão da Física Moderna através de textos históricos, experiências e demonstrações investigativas. Essas relações estão pensadas na forma de ciclos argumentativos pequenos, médios e grandes, de forma que as conclusões a que os estudantes chegam possam servir de base e garantia na sua argumentação nos blocos de atividades subsequentes, conforme o padrão de argumentação de Toulmin (2006).

Ciclos argumentativos de pequena complexidade, na nossa sugestão, ocorreriam quando os estudantes apenas discutissem acerca das propriedades das partículas e das ondas, por exemplo. Ciclos argumentativos com média complexidade ocorreriam quando os estudantes utilizassem as informações obtidas nos ciclos de menor complexidade para caracterizar os raios catódicos como partículas e como ondas, e para caracterizar os raios catódicos como elétrons.

E, finalmente, ciclos argumentativos com grande complexidade ocorreriam quando os estudantes utilizassem as informações obtidas pelos ciclos de pequenas e médias complexidades para decidir sobre nossa interpretação acerca do caráter dual do elétron e quando utilizassem todas as informações obtidas anteriormente nos demais ciclos para debater o uso da tecnologia para melhorar as condições de vida das pessoas, uma vez que não pensamos em Alfabetização Científica que não seja engajada na luta pela melhoria das condições sociais e econômicas de nossa sociedade.

Recapitulando, a nossa sequência está dividida em três blocos de atividades pensadas e montadas de tal forma a promover argumentação com complexidade crescente, sempre focando na alfabetização cinética. Esquemáticamente, podemos estruturar os blocos como mostramos em seguida:

➤ Bloco 1: Estudando Partículas

◆ Primeiro Encontro

- Atividade experimental: futebol de dedos
- Discussão: Generalizando partículas!

◆ Segundo encontro:

- Atividade experimental: O Tubo de Raios catódicos
- Discussão: Raios Catódicos são Partículas?

◆ Terceiro Encontro:

- Texto: Entrevista com JJ Thomson
- Discussão: Aspectos Históricos

➤ Bloco 2: Estudando Ondas

◆ Quarto Encontro

- Atividade experimental: Futebol de régua
- Discussão: Generalizando Ondas!

◆ Quinto Encontro:

- Atividade experimental: Os anéis de GP Thomson
- Discussão: Os Raios Catódicos são Ondas?

◆ Sexto Encontro:

- Texto: Entrevista com GP Thomson.
- Discussão: Aspectos Históricos

➤ Bloco 3: Física Quântica

◆ Sétimo Encontro

- Vídeo: A experiência de A Tonomura e equipe
- Endereço: <http://www.youtube.com/watch?v=oWRI-LwyC4> acesso em 11/04/2013;
- Discussão: E o elétron?

◆ Oitavo Encontro

- Texto: Entrevista com A Tonomura
- Discussão: O que vemos o que imaginamos?

◆ Nono Encontro

- Texto: Interpretações da Física Quântica
- Discussão: Complementaridade, Dualidade, Partícula ou Onda?

Uma nota importante deve ser colocada aqui. Na SEI que se segue, já faremos sua análise em cada atividade em cada um dos três blocos. Assim, em cada bloco encontraremos a atividade sugerida para a aplicação pelo professor em um quadro com fundo levemente acinzentado (segundo o editor de texto que utilizamos na versão original, cinza em dez por cento). E ainda, as entrevistas indicados para a leitura, que são os textos históricos adaptados de fontes primárias de História da Ciência, estão em fonte diferenciada (segundo o editor de texto original, fonte “Bookman Old Style”). Dessa forma o leitor pode identificar claramente as atividades sugeridas da SEI das análises feitas para este trabalho acadêmico.

8.1 Bloco1: O que são partículas?

8.1.1 Encontro 1: Um modelo para as partículas

Encontro 1: Um modelo para as partículas

Atividade Investigativa: Futebol de Dedos

O Futebol de Dedos foi um jogo muito difundido na década de 1980, com vendas de jogos em lojas e magazines¹⁰. Nossa sugestão é montar um jogo equivalente, em madeira e pregos, conforme a figura abaixo (que utiliza uma versão com moedas, mas existem outras versões)¹¹. Os contentores podem executar até duas jogadas para atingir o gol¹².

Figura 2 : Campo de Futebol de Dedos

¹⁰ <http://quantaspatastemopato.wordpress.com/category/anos-80/page/2/> ; acesso em 17/06/2013

¹¹ <http://www.youtube.com/watch?v=jPjj6V69yYc> ; acesso em 17/06/2013 (vídeo mostrando como se monta um equipamento similar)

¹² <http://www.youtube.com/watch?v=p836Kmzbl0k> ; acesso em 17/06/2013

Objetivos Pedagógicos:

- Investigar os comportamentos de uma bolinha de gude e generalizar esse modelo para reconhecer as partículas; organizar os conceitos sobre partículas;
- Elencar hipóteses sobre o comportamento de partículas;
- Solucionar o problema, fazendo gols durante a partida de Futebol de dedos;
- Desenvolver a colaboração entre os estudantes; desenvolver a precisão e a perseverança dos estudantes na busca da solução do problema; Desenvolver o gosto pela ciência;

Desenvolvendo a Atividade

A atividade inicia aqui com a distribuição de bolinhas de gude e “pequenos campos de futebol” a cada grupo de quatro a cinco estudantes e o professor enuncia o seguinte problema: “Quantos movimentos vocês podem fazer para sair do meio de campo e fazer um gol nesses campinhos? Para isso, vocês estão convocados para um campeonato de futebol! Bons jogos!”

Após os jogos, o professor pede aos estudantes que verifiquem os comportamentos possíveis de uma partícula, utilizando as observações dos jogos. Como trajetória bem definida seja em linha reta, se não há ação de outras forças (ou sua soma é nula), ou seja, em curvas, como em uma parábola, quando sob ação da gravidade, por exemplo; ou como em um círculo quando presa a um fio e colocada a se mover, fixando a outra ponta do fio.

Outro aspecto importante de uma partícula é a possibilidade de verificar sua posição. Os estudantes devem tanto verificar como identificar as trajetórias e as posições da bolinha de vidro durante suas atividades. Sugerimos também, a troca das bolinhas de gude por moedas e por peças de dama (discos e toróides). E ainda pode cobrir parte (um terço do comprimento) de alguns “campos” com tecido preto,

possibilitando apenas a visão parcial do “campo”.

Nesta atividade, o professor explora a visão dos estudantes sobre as características das partículas, promovendo discussões, com questões do tipo:

- Como foi o jogo? Foi fácil fazer gols?
- As bolinhas sempre se comportaram como você gostaria?
- O que atrapalhava o jogo para se fazer um gol?
- É possível mudar a trajetória da bolinha? Como?
- Sempre era possível atingir o gol? Explique.
- Você desenvolveu alguma técnica para fazer mais gols? Qual?
- Você pode desenhar as trajetórias da bolinha em cada lance de gol?
- Se houvesse um goleiro móvel você poderia defender seu gol? Poderia evitar a entrada da bolinha?
- Você fez algum gol por cobertura? Com a bolinha passando por cima dos pregos?
- Poderia desenhar essa trajetória? Que tipo de curva seria?
- Se cobríssemos parte do “campo” e continuássemos a partida. Se você visse a bolinha entrando na área coberta e depois saindo, poderia deduzir sua trajetória? Como faria sem retirar a cobertura?

Quanto à resposta do aluno que, apesar de não poder ser conhecida de antemão, é necessário estar preparado para ela. A avaliação do professor pode ou não ser feita, uma vez que o professor pode apenas aceitar as respostas apresentadas, num primeiro momento, para depois discuti-las com o grupo de alunos. Alguns exemplos:

- Ah! Para mudar a trajetória da bolinha é só dar uma bica nela!
- Dar uma bica... E seria só com o dedo? Poderia ser com outra bolinha ou prego, Nicolás?
- Como ela faz curva? É o magnetismo da Terra...
- Se a bolinha é feita com vidro, como o magnetismo da Terra a afeta?

Estruturando os conceitos e definindo partícula: o professor pede aos alunos escrever, desenhar, ilustrar o que observaram e o que discutiram. Melhor ainda, que desenhem durante os debates.

Questionamento final: Somente bolas são partículas?

Professor, você pode encerrar a atividade com algumas questões:

- Você pode ver fenômenos semelhantes? Onde?
- Somente em jogos de futebol?
- Partículas sempre se comportam como uma bolinha de gude?
- Todas as bolas são partículas?
- Para observarmos partículas elas deverão ser bolas?
- Podemos observar partículas indiretamente? Como assim? Dê um exemplo!

Dessa forma você favorecerá o desenvolvimento de um processo de argumentação na sua interação com os alunos e entre os seus alunos. E é durante esse processo de argumentação que estaremos promovendo a alfabetização científica.

OBSERVAÇÕES – ENCONTRO 1

Neste Encontro 1 podemos encontrar os aspectos da SEI:

- ***Da importância de um problema para o início da construção do conhecimento***
 - *Neste aspecto essencial, o professor demonstra que no problema de se jogar futebol (mesmo em um jogo lúdico com os dedos), encontramos problemas cuja soluções dependem da consciência de que a bola trata-se de uma partícula em movimento, cujas características são importantes para o bom jogo;*
 - *Nas discussões o professor pode demonstrar que mesmo que um jogador na “vida real” não necessite saber que a bola de futebol é tratada como partícula,*

um goleiro precisa saber as duas características principais das partículas (posição e trajetória bem definidas) para poder fazer um bom jogo e executar boas defesas, por exemplo.

- ***Partindo da ação manipulativa para a ação intelectual;***
 - *Neste aspecto, podemos elencar as atividades do Futebol de dedos, que após as partidas, são colocadas as questões sobre como os estudantes jogaram suas partidas;*
 - *Também são feitas várias perguntas para se orientar as soluções das questões sobre o comportamento das partículas, especialmente posição definida e trajetória, de forma que os estudantes possam obter, dessa transição do manipulativo para a ação intelectual, ideias para suas Argumentações sobre os aspectos das partículas;*
- ***O papel do professor como elaborador de questões;***
 - *Este aspecto é destacado pelas sugestões que são dadas pela SEI para o professor poder questionar os estudantes;*
 - *A montagem da SEI está preocupada em deixar várias sugestões de perguntas e questões para que o professor possa promover a Argumentação nas interações entre professor e alunos e entre alunos e alunos;*
- ***A criação de um ambiente encorajador;***
 - *Neste ponto, como é uma atividade inicial, o professor deve encorajar os alunos à participarem dos debates, principalmente. Deve também encorajar, através das experiências já vividas pelos alunos.*
- ***O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula;***
 - *Como parte de um ambiente encorajador, o professor pode, através de suas perguntas e questões, animar os estudantes a recordarem de suas experiências em futebol, volei ou basquete, para pensar em como podem os jovens fazerem bons jogos no campeonato de futebol de dedo. Comparando,*

por exemplo, qual técnica cada esporte tem para atingir sua meta (gol, cesta ou ponto).

- **O conteúdo (o problema) tem que ter significado para o aluno**

- *No Brasil, uma parcela significativa de pessoas gostam de futebol. E, ainda mais, o jogo, como atividade lúdica em sala de aula, traz para o estudante mais uma atividade atraente e diversificada.*
- *O trabalho do professor é importante quando, como elaborador de perguntas e questões, pode aumentar as dificuldades durante as partidas e assim o professor pode perguntar: “chute direto ou por cobertura”, por exemplo, tornando a atividade progressiva também*

- **A participação ativa do aluno**

- *Esperamos que a SEI, montada com a valorização das possibilidades de conteúdo com significado e com estímulo de perguntas e questões do professor, o estudante também, por sua vez sinta-se estimulado e tenha participação ativa durante a atividade.*

- **O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula**

- *O jogo é uma das formas que encontramos na elaboração da SEI para que se possa não só favorecer a participação ativa do estudante, mas como também favorecer o ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula.*
- *Favorece os conhecimentos que alguns alunos possam ter sobre futebol ou que tenham como habilidade motora nas mãos, por exemplo.*

- **A importância da interação aluno-aluno**

- *Um campo de futebol de dedos já necessita de dois participantes, mas a SEI foi criada de forma a favorecer um pequeno campeonato, de forma que quatro ou mais alunos possam participar da atividade durante o torneio.*

- *Com a devida supervisão do professor, a promoção de uma zona de desenvolvimento proximal, das interações sócio-construtivistas, entre alunos é um ponto importante a ser favorecido com o jogo e com o campeonato, sem perder o foco nas observações sobre comportamento de partículas.*
- **A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica**
 - *Durante uma partida de futebol, o jogador não pensa se a bola é uma partícula, se está em uma determinada posição ou se segue determinada trajetória. Mesmo assim pode ser um bom jogador. O jogador, como o aluno, dirá que a bola estava parada e, após um chute, fez uma curva (ou um “gol de folha seca”), por exemplo. Durante os debates o professor terá, após os jogos, subsídios suficientes para discutir com alunos sobre posição e trajetória de uma partícula como características exclusivas das partículas. E por sua vez, os alunos terão bases para iniciar suas argumentações (como em um padrão de argumentação de Toulmin).*
- **A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade**
 - *Uma das crenças que os estudantes possam ter, é que a Ciência e a Tecnologia não estão relacionadas com os quereres da Sociedade. Podem até saber, como vemos em nossas aulas, que as duas primeiras trazem melhorias para a vida deles relacionadas com grandes aparatos tecnológicos, mas não levam em consideração, frequentemente, que elas fornecem melhorias em todos os níveis sociais.*
 - *No nosso caso, do jogo de futebol, a Ciência e a Tecnologia entram com a Física dos movimentos e com as Tecnologias de vídeo e trocas de informações entre árbitros; de desenvolvimento de novas bolas (a bola de golfe e bola Jabulani - da Copa Mundial de 2010 na África do Sul, por exemplo). A preocupação da CTS neste caso pode ser estimulada com a melhoria do espetáculo do esporte, e pode ser introduzida com questões do professor ou, durante os debates, nas falas dos estudantes quando discutirem sobre a trajetória da bola.*

E ainda podemos encontrar o favorecimento dos Indicadores de Alfabetização Científica:

- **Seriação de informações**

- *Durante as partidas os estudantes estarão obtendo informações sobre posição e trajetória de uma partícula, sem necessariamente as obter com esses nomes.*

- **Organização de informações**

- *É necessário, com o auxílio do professor, uma organização inicial das informações. Apesar de a meta ser fazer gols e avançar no campeonato, o professor conduziria os estudantes para observarem as características das partículas, sem nomeá-las, indicando outras formas de jogar a bolinha de gude (chute direto, de tabela, por cobertura...).*

- **Classificação de informações**

- *Depois, seguindo a atividade proposta na SEI, com as orientações do professor e suas perguntas e questões, os estudantes poderão partir da sua linguagem cotidiana e conhecer a linguagem científica.*

- **Levantamento de hipóteses**

- *Ao colocar os alunos em situações de transição da ação manipulativa para ação intelectual, estes mesmos alunos estarão em posição de poder levantar hipóteses sobre os aspectos das partículas, especialmente posição e trajetória;*

- **Teste de hipóteses**

- *Os questionamentos do professor induzem o aluno a testar suas hipóteses, a voltar ao campo de futebol e verificar se, por exemplo, é possível fazer um gol por cobertura ou se é possível traçar as trajetórias das bolinhas para cada jogada;*

- **Justificativa**

- *A SEI foi elaborada inclusive com algumas sugestões de respostas possíveis (mas não foram esgotadas) que os estudantes possam fornecer durante os questionamentos do professor. Dessa forma, a SEI está proporcionando ao professor possibilidades de se preparar para as justificativas que os estudantes poderão fornecer para suas hipóteses. Justificativas essas importantes para o processo de Argumentação.*

- **Previsão**

- *A SEI também permite, nas suas atividades, o favorecimento de elaboração de previsões. Após as atividades de ação manipulativa, e durante a discussão sobre as observações, os estudantes são colocados na transição para a ação intelectual, principalmente generalizando os aspectos das partículas, podendo fazer previsões e até generalizações sobre o que são partículas.*

- **Explicação**

- *Após as previsões, e durante os debates, a Argumentação dos estudantes estará ligada principalmente às explicações dos eventos que presenciaram. Este Indicador de Alfabetização Científica estará melhor evidenciado quando os alunos explicarem seus desenhos, ilustrações e rascunhos sobre partículas, que é pedido ao final dessa atividade, desse Encontro.*

8.1.2 Encontro 2: Os Raios Catódicos

ATENÇÃO: Como utilizar um aparelho de difração de elétrons?

Para se utilizar um aparelho de difração de elétrons você pode adquirir um (o que é muito caro e não apoiamos isso para um professor, mas para uma escola vale a pena), pedir um emprestado ou levar seus alunos a um laboratório de Física Moderna em um Instituto de Física de uma Universidade. Há também simuladores e vídeos na internet, com a manipulação de aparelhos de difração de elétrons¹³.

Os aparelhos reais são muito fáceis de utilizar, basicamente um botão liga – desliga e um botão de intensidade (com o qual se aumenta a tensão elétrica entre as placas de aceleração, que ficam logo no início do tubo). Após ligado, aumentando a tensão, um ponto luminoso verde aparece na tela branca do tubo. Dessa forma o experimento de Raios Catódicos semelhante ao de JJ Thomson poderá ser executado. Aumentando a tensão, a experiência fica semelhante à de GP Thomson, e é justamente o que não queremos neste momento.

Figura 3 : Tubo de Raios Catódicos e Difração de Elétrons

Encontro 2: Os Raios Catódicos

Objetivos:

- Manipular um aparelho de Difração de elétrons em baixa tensão, de forma que funcione como um aparelho de Raios Catódicos simples (semelhante

¹³ <http://www.youtube.com/watch?v=4nKlsp1bYmg> (acesso em 17/06/2013)

ao de JJ Thomson);

- Identificar quais imagens podem aparecer no tubo de raios catódicos e como modificá-las;
- Utilizar o modelo de partículas para classificar os raios catódicos;
- Vivenciar o trabalho de um cientista;
- Desenvolver a curiosidade sobre o funcionamento de um aparelho de difração de elétrons;
- Desenvolver a responsabilidade de se usar um aparelho emprestado e de alto custo;

Desenvolvendo a Atividade

Professor, agora apresente e distribua (ou projete) o desenho esquemático do aparelho de difração de elétrons como um aparelho para demonstração, e descreva o seu funcionamento (visto no anexo ou obtido na internet, e indicamos também que teste o aparelho antes de levar os alunos para a sala). Como é um aparelho de difração de elétrons, em baixas tensões ele funciona como um tubo de raios catódicos comum, do tipo que JJ Thomson utilizou em seus experimentos. Para se trabalhar com maiores tensões, somente no encontro 5, quando trataremos do elétron como onda.

Lembre-se de que os raios catódicos são produzidos pelo aquecimento do filamento do tubo e acelerados pela diferença de tensão entre as placas do aparelho. E o que se pode modificar nesse arranjo é a tensão entre as placas, conseqüentemente, aumentando ou reduzindo a velocidade dos elétrons.

Antes de ligar o aparelho (ou apresentar uma simulação ou vídeo) e após explicar sucintamente como ele funciona, pergunte aos estudantes o que eles esperam ver na tela. Como a última atividade estava relacionada com partículas, utilize esse viés para discutir as previsões dos alunos. Ou seja, é neste momento que o professor resgata informações sobre partículas (vistas na última atividade) para a identificação do elétron como uma partícula, e favorecendo o levantamento de hipóteses e as previsões.

Professor, você pode iniciar a discussão da seguinte forma: “No nosso último Encontro, elencamos algumas características de partículas quando analisamos os

jogos do campeonato de futebol de dedos, vejamos quais seriam elas:”

- A bolinha de gude deveria ser vista para ser “chutada” para o gol? Precisa ter um posição bem definida?
- Era possível desenhar o caminho que a bolinha percorria da ponta do dedo até o gol? Ou seja, era possível determinar a trajetória da bolinha?
- Para se definir uma partícula ela precisa ter, entre outras coisas, uma posição e uma trajetória bem definidas?
- As bolinhas de gude são partículas porque podemos definir bem suas posições e suas trajetórias?
- Qualquer objeto que pudermos definir muito bem a sua posição e a sua trajetória poderemos considerá-lo uma partícula?

Após o questionamento, caro professor, demonstre o funcionamento do aparelho, resgatando conceitos de eletricidade básica (como dinâmica do movimento de cargas) e resgatando as ideias sobre partículas discutidas no Encontro 1, focalizando a atenção nas coisas necessárias para que se possa identificar uma partícula, tais como:

- O que aconteceu?
- Os raios catódicos que saem do filamento aquecido do aparelho sempre seguem em linha reta?
- Como você explica que um ímã possa modificar a trajetória de um grupo de cargas elétricas?
- O mesmo ocorre com uma placa eletrizada ou um conjunto de placas eletrizadas?
- Se as cargas elétricas estivessem em repouso, ocorreria a mesma ação?
- É necessário a partícula ter velocidade para interagir com um ímã?
- E com uma placa eletrizada?
- É necessário a partícula ter carga elétrica para interagir com um ímã?
- E com uma placa eletrizada?

Questionamento final: Todas as coisas, todos os objetos são partículas? Existem

exceções?

Caro professor, nos debates busque evidenciar as características das partículas e provoque seus estudantes para que discutam essa generalização, através de suas questões. Você pode fazer isso utilizando as informações obtidas nas discussões na Encontro 1. E levando em consideração as informações obtidas neste Encontro 2, é possível identificar os elétrons como partículas? Quais são suas justificativas? Quais suas hipóteses?

OBSERVAÇÕES – ENCONTRO 2

Neste Encontro 2 podemos encontrar os seguintes aspectos da SEI:

- ***Da importância de um problema para o início da construção do conhecimento***
 - *A SEI propõe um problema que é a possibilidade de generalização do conceito de partícula para os Raios Catódicos, utilizando um aparelho de difração de elétrons em baixa tensão.*
- ***Da ação Manipulativa para a ação Intelectual***
 - *A nossa proposta incita o aluno a manipular o aparelho de difração (após demonstração do professor), de forma a testar suas ideias sobre partículas. E depois, questionado pelo professor, pode, individualmente ou em grupo, discutir suas observações. Dessa forma, a SEI promove o processo de argumentação dos estudantes, fornecendo elementos para estruturar suas ideias.*
- ***O Papel do Professor como elaborador de questões***
 - *Em vários casos, na nossa SEI, o professor será convocado a ser um elaborador de perguntas e questões. Nesta atividade, é imprescindível esse papel no início, quando o professor relembra as conclusões do último encontro, o Encontro 1, com reforço nas características das partículas.*
 - *O professor tem papel importantíssimo ao final da atividade, como elaborador de perguntas e questões, ajudando os estudantes a sintetizarem suas ideias.*
- ***A criação de um ambiente encorajador; e***
- ***O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula;***

- *Estes dois aspectos ficam juntos, nesta atividade, pois o professor precisa encorajar os alunos e ao mesmo tempo valorizar seu conhecimento. Principalmente, porque é com este conhecimento que o aluno traz que o professor trabalhará para juntar o conceito de partícula obtido no Encontro 1 para auxiliar os estudantes na generalização desse conceito para os Raios Catódicos.*
- **A participação ativa do estudante**
 - *Esperamos que, com um ambiente encorajador e com a valorização do conhecimento que o estudante traz para a sala de aula, o aluno esteja preparado e estimulado a participar ativamente da aula, da atividade. Neste ponto, vale ressaltar que atividades atraentes, progressivas e variadas ajudam muito nessa participação, porém, não são as respostas para todas as dificuldades que enfrentamos nas salas de aula atualmente.*

E neste ponto também podemos identificar alguns Indicadores de Alfabetização Científica:

- **Seriação de informações**
 - *Este indicador pode ser encontrado na SEI quando do levantamento dos conceitos de partículas vistos no Encontro 1 e levantadas novamente através dos questionamentos do professor;*
- **Organização de informações**
 - *Nas questões sobre as perspectivas que os estudantes tem acerca do comportamento das partículas em geral e dos Raios Catódicos em particular, é que esse indicador está favorecido, pois precisarão organizar as informações do encontro anterior e estruturá-las.*

- **Classificação de informações**

- *Ao final da atividade, os estudantes poderão, com as informações obtidas, classificar os Raios Catódicos como partículas, quase sem possibilidade de dúvidas. Isso somente será possível com a ação do professor e a participação ativa do estudante.*

- **Levantamento de hipóteses**

- *Após o questionamento inicial, o professor estará disponibilizando um arsenal de informações que os estudantes poderão utilizar para finalmente os alunos levantarem suas hipóteses sobre o que são partículas e como se apresentam na Natureza.*

- **Teste de hipóteses**

- *Tão logo se demonstre como o aparelho de difração funciona, os grupo poderão testar suas hipóteses, tanto com o debate com o professor (enquanto esse manipula o aparelho) ou em separado, indo cada grupo manipular o aparelho sob supervisão do professor.*

- **Justificativa**

- *Nesta atividade a SEI promove a possibilidade de o estudante justificar suas hipóteses com a manipulação do aparelho sob supervisão do professor. As respostas esperadas dos estudantes estão relacionadas com as possíveis justificativas para os comportamentos de partículas.*

- **Previsão**

- *A SEI também promove a possibilidade de previsão de eventos quando sugere ao professor que questione seus alunos acerca das propriedades das partículas e o que eles esperam (ou esperavam) do comportamento dos Raios Catódicos.*

- **Explicação**

- *Nossa SEI também aqui favorece ao aluno a possibilidade de explicar o que se viu, se observou durante o experimento. Através dessas explicações o estudante poderá chegar sozinho, ou em grupo, à conclusão de que Raios Catódicos podem ser considerados partículas.*

8.1.3 Encontro 3: Conversando com JJ Thomson

Encontro 3: Conversando com JJ Thomson

Caro Professor, a leitura de textos históricos em sala de aula é muito importante. As fontes primárias (textos originais) são sempre fontes ricas para a elaboração de materiais para sua aula, de forma que os aspectos humanos do cientista fiquem evidenciados, e os erros de uma interpretação de uma ciência “mágica” ou irreal, cheia de “heróis e bandidos”, cheia de misticismos e credices. Por incrível que pareça, é isso que ocorre nas nossas salas de aula e, infelizmente, nas mentes de nossos alunos.

Os textos que propomos são adaptações de textos originais. A seguir o texto de JJ Thomson é composto por enxertos de traduções nossas do texto original (que pode ser encontrado em bibliotecas de Faculdades de Física ou na internet, simplesmente anotando no buscador de sua preferência a referência do artigo). Nosso texto foi montado como uma entrevista de uma editoria de Ciência de um jornal fictício, o Folha de Aracaju. O nome da jornalista é uma homenagem póstuma à mãe do autor, nascida em Sergipe.

Em testes feitos em sala de aulas reais, os estudantes de Ensino Médio demoram dois minutos, em média, para ler uma página de texto corrido¹⁴. Um teste foi feito com cinco turmas diferentes de primeiro ano do Ensino Médio, com 30 alunos em média em cada sala (não para esta pesquisa, mas para uma sequência didática proposta pelo Guia do Estudante do Ensino Médio, volume 2, 1º ano, segundo o Currículo do Estado de São Paulo e aproveitamos para medir os tempos médios e máximos em turmas reais). O tempo médio foi de 15 minutos, porém algumas turmas alcançaram 30 minutos, no máximo, na leitura do texto.

Objetivos Pedagógicos:

- Classificar o elétron como partícula
- Compreender como foi a experiência de JJ Thomson com os Raios Catódicos
- Conhecer um cientista e como ele trabalhava

¹⁴ Teste feito em uma escola de Jundiaí, com o texto “A Cruzada” de Arthur C. Clarke, do livro “O Vento Solar”.

- Conhecer a multiplicidade de métodos científicos através dos procedimentos utilizados por JJ Thomson
- Estimular a curiosidade e o interesse pela Ciência
- Estimular a perseverança e a objetividade através do exemplo que JJ Thomson fornece na descrição de seu trabalho
- Estimular a colaboração e a busca de consenso entre estudantes através de atividades em grupos

Atividade: A entrevista com JJ Thomson sobre a sua experiência com questões do tipo:

- Hipótese Teórica;
- Fundamento Teórico;
- Equipamentos disponíveis;
- Realização do experimento;
- Dados coletados - tabelas e figuras;
- Dificuldades experimentais;
- Conclusões

Discutindo a atividade: Em grupos, os estudantes relêem e discutem o texto adaptado de JJ Thomson. O professor propõe aos grupos comparações entre o experimento e os dados obtidos por JJ Thomson e o executado anteriormente. Na discussão geral, entre todos os grupos, o professor inquire os estudantes acerca da característica corpuscular do elétron.

Texto: “Entrevista com JJ Thomson”.

Nesta atividade, caro professor, entregue o texto a seguir para uma leitura antes do próximo encontro. Porém, no Encontro 3 este texto será lido novamente, os alunos, em grupos, discutirão as ideias principais e buscando nos aspectos históricos que estamos destacando, as seguintes informações:

- Hipótese Teórica;
- Fundamento Teórico;
- Equipamentos disponíveis;

- Realização do experimento;
- Dados coletados - tabelas e figuras;
- Dificuldades experimentais;
- Conclusões

E que estarão melhor descritas na atividade “*Encontro 3: Conversando com JJ Thomson.*”

Texto: *Entrevista com JJ Thomson*

OS RAIOS CATÓDICOS SÃO PARTÍCULAS!

Iniciamos nossos trabalhos com um representante da Física Experimental do final do século XIX, o senhor JJ Thomson e que, sempre preocupado em obter imagens dos objetos que estuda, conseguiu mostrar ao mundo os traços de partículas e de raios em suas câmaras. Seus estudos sobre os raios catódicos levaram ao que hoje, apesar de alguma controvérsia, chamamos de elétrons.

Os raios catódicos são objetos que saem da placa metálica ligada ao pólo negativo de uma fonte de eletricidade, como no experimento da eletrólise. Porém, diferente da eletrólise (em que se tem um meio líquido), os raios catódicos somente podem ser observados quando o tubo de vidro, em que estão o catodo e o anodo [NR: placas metálicas carregadas eletricamente positivamente e negativamente], quando se reduz muito a pressão do ar dentro dele (um milionésimo da pressão atmosférica).

Publicamos agora uma entrevista que o senhor JJ Thomson cedeu na Universidade de Cambridge, Inglaterra, à nossa correspondente Renilde Lopes, da editoria do caderno de Ciência desta Folha de Aracaju, sobre sua teoria da partícula eletrificada.

Figura 4: JJ Thomson

RL: Qual a vantagem da teoria da partícula eletrificada?

JJ: *A teoria da partícula eletrificada tem uma grande vantagem para finalidades da pesquisa sobre a teoria do éter, posto que é definitiva e suas conseqüências podem ser previstas. Com a teoria do éter é impossível prever o que acontecerá sob todas as circunstâncias dadas, o que não ocorre com a nossa teoria.*

RL: Então, como o senhor pensou suas experiências?

JJ: Algumas experiências foram feitas para testar algumas das conseqüências da teoria da partícula elétrica: verificar se os raios catódicos carregam cargas elétricas; se os raios catódicos sofrem deflexão por campos eletrostáticos e magnéticos; se um gás atrapalha a passagem de raios catódicos; determinar a velocidade dos raios catódicos; e, se as propriedades dos raios catódicos sofrem variações com diferentes tipos de eletrodos.

RL: Certo. Assim, feita em partes, primeiramente o senhor mostrou que os Raios Catódicos são carregados eletricamente...

JJ: *Isso. Se estes raios são partículas negativamente eletrificadas, quando entram em um recipiente devem carregar nele uma carga da eletricidade negativa. Isto foi provado ser o caso e já tinha sido testado por Perrin. Esta experiência mostra que algo carregado com a eletricidade negativa é disparado para fora do cátodo, viajando perpendicularmente a ele, e que este algo é defletido por um ímã. Está aberta, entretanto, à objeção que não mostra que a causa da eletrificação no eletroscópio tem qualquer coisa relacionado com os raios catódicos. Outros cientistas não negam que as partículas eletrificadas sejam disparadas do cátodo; negam, entretanto, que estas partículas carregadas tenham a ver com os raios catódicos tanto quanto uma bala de um rifle tem com o “flash” quando um rifle é disparado.*

RL: Em seguida, o senhor demonstrou que esses raios são defletidos por campos eletrostáticos. E isso foi fácil?

JJ: Mais ou menos. Outros cientistas já trabalhavam com essa ideia, como Hertz. Mas era difícil convencer os outros colegas. *Uma objeção citada muito geralmente diz que os raios catódicos são partículas negativamente*

eletrificadas, e que nenhuma deflexão dos raios tem sido observada até aqui sob uma força eletrostática pequena. E, embora os raios sejam defletidos quando passam perto dos elétrodos conectados com as fontes de grandes diferenças do potencial, como eletroímãs ou as máquinas elétricas, as deflexões são consideradas, neste caso, como devido à descarga que passa entre os elétrodos, e não primeiramente ao campo eletrostático. Assim, no começo obtive o mesmo resultado, mas em experiências subsequentes mostrei que a ausência de deflexão dos raios catódicos é devido à condutibilidade do gás rarefeito. Ao medir esta condutibilidade, encontrei uma redução muito rápida, enquanto a evacuação aumentava. Pareceu-me, então que tentar a experiência Hertz em vácuos muito elevados pode ser que se tenha uma possibilidade de detectar a deflexão dos raios catódicos por uma força eletrostática.

RL: Por que o senhor precisou estudar a condutividade de gases dentro dos aparelhos?

JJ: Em princípio, verificar se os raios catódicos possam ser vistos diretamente.

RL: Uma imagem vale mais que mil palavras nesse caso?

JJ: Com certeza auxilia muito. *É possível verificar a deflexão dos feixes de raios catódicos. Com a chapa que obtive, é possível verificar as trajetórias dos raios catódicos entre as placas carregadas eletricamente.*

Figura 5: Chapa fotográfica de JJ Thomson mostrando as trajetórias dos raios catódicos sob ação de campo elétricos positivo e negativo

RL: Certo. E então a deflexão dos raios catódicos pela força magnética ficou mais fácil de ser verificada quando os raios passam através de gases?

JJ: Certamente isso ocorreu, mas com pressões no gás de tal forma que ainda soubesse que havia gás lá dentro do tubo.

RL: Um pouco mais claro para nossos leitores. Uma vez que esses raios podem ser tratados como partículas, então as relações de forças e de energia podem ser utilizadas?

JJ: Vamos por partes. Como os raios catódicos transportam uma carga de eletricidade negativa, são desviados por uma força eletrostática, como se fossem eletrificadas negativamente, e são aproveitados por uma força magnética apenas na maneira em que esta força poderia atuar em um corpo eletrificado negativamente movendo ao longo do caminho desses raios, não vejo como fugir da conclusão de que eles são cargas de eletricidade negativa transportadas por partículas da matéria. São átomos ou moléculas, ou matéria em um estado ainda mais fina de subdivisão? Para lançar alguma luz sobre este ponto, eu fiz uma série de medidas da relação entre a massa dessas partículas à acusação feita por ele.

RL: E assim como o senhor pode encontrar a relação entre o valor da massa e da carga da partícula?

JJ: Para determinar essa quantidade, eu usei alguns métodos independentes. O mais interessante deles é calculando a variação da temperatura na placa onde incidem os raios catódicos e relacioná-la à energia cinética das partículas que compõem esses raios, e *conhecendo o valor da velocidade chegaremos ao valor da relação e/m das partículas eletrizadas.*

RL: Quais foram as suas dificuldades?

JJ: É muito difícil manter o vácuo e executar medições no escuro. Então, em alguns equipamentos mantivemos uma agulha fosforescente para ver melhor quando os raios catódicos passavam por ela.

RL: E quais seriam as principais propriedades dos raios catódicos, então?

JJ: Podemos medir a sua velocidade e verificar que não há relação com o tipo de material do cátodo e as propriedades dos raios catódicos.

Figura 6: Modelo de tubo de Raios Catódicos utilizado por JJ Thomson

RL: Então como o senhor estudou essas outras características?

JJ: *A velocidade dos raios catódicos é variável, dependendo da diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo, que é uma função da pressão do gás.*

RL: Com suas experiências sobre os raios catódicos, o senhor pode afirmar então que os raios catódicos são partículas, corpúsculos?

JJ: Afirmar isso é o mesmo que dizer que eu vi partículas lá, passando pelo tubo. Não creio que conseguiria assim. A Física favorece o uso de modelos, neste caso de um modelo para partículas. No meu artigo que ora estamos discutindo, considero que *o que passa por um gás é um elemento de massa carregado eletricamente, que, para ser breve chamaremos de corpúsculos*. Mas não na forma em que esta hipótese foi enunciada por Prout, os átomos de diferentes elementos foram átomos de hidrogênio; desta forma precisa a hipótese não é sustentável, mas, se substituir hidrogênio por alguma substância desconhecida primordial X, não há nada conhecido que é incompatível com esta hipótese, que é aquele que foi recentemente apoiado por Sir Norman Lockyer, por razões derivadas do estudo dos espectros estelares.

RL: O senhor está afirmando que Prout imaginava que o hidrogênio é o átomo primordial, porém com os resultados que obteve, o senhor supõe um outro elemento, mais primordial, que formaria os outros átomos e que seria esse elemento X. Então há algo mais primordial que o hidrogênio em sua opinião, Sr. Thomson?

JJ: Sim. *Se, no próprio campo elétrico intenso na vizinhança do cátodo, as moléculas do gás são dissociadas e são divididas, não nos átomos químicos comuns, mas para esses átomos primordiais, que são, para ser breve, corpúsculos e, se estes corpúsculos são carregados de eletricidade e projetados a partir do cátodo por um campo elétrico, eles se comportam exatamente como os raios catódicos.*

RL: O senhor está dividindo mais ainda a matéria?

JJ: Sim, é minha hipótese. E esta é a visão que tenho sobre os raios catódicos, que é a matéria *em um novo estado, um estado em que a subdivisão da matéria é levada muito mais longe do que no estado ordinário gasoso: um estado no qual toda a matéria - isto é, matéria derivada de diferentes fontes, como hidrogênio, oxigênio, etc. - é de um e do mesmo tipo, o que importa ser a substância da qual todos os elementos químicos são construídos.*

RL: Obrigada pela entrevista, professor.

JJ: Obrigado pela sua paciência e sua gentileza. Espero receber a matéria publicada. Tenha um bom dia!

Questionamento final: Então os raios catódicos são compostos por partículas?

Nesta parte, professor, apresente as questões feitas nos primeiro encontros, de forma que os estudantes possam fazer uma recapitulação dos conceitos já vistos e tenham material para basear suas argumentações nos debates. Assim, você pode pedir para que seus alunos respondam à pergunta favorecendo o debate acerca do comportamento corpuscular, ou seja, como o de uma partícula, dos Raios Catódicos. Podendo generalizar inclusive para objetos que não é possível ver diretamente.

Neste ponto, os alunos podem questionar se estão trabalhando com elétrons ou com Raios Catódicos. Aqui é interessante então fazê-los notar esse aspecto da História da Ciência: os Raios Catódicos foram caracterizados como partículas por JJ Thomson com seus experimentos, mas não renomeou os Raios Catódicos, por já terem um nome. Elétron (ou átomo de eletricidade) foi um nome sugerido por GJ Stoney em 1874, fornecendo seu artigo desse mesmo ano várias características do elétron, com seus erros de medida, mas bem próximos do real. Mantemos o nome Raio Catódico, pois é assim que JJ Thomson se refere em todo o seu artigo, e estamos prezando o uso de textos originais, mantendo os paradigmas da época presentes nas fontes primárias.

OBSERVAÇÕES – ENCONTRO 3

Podemos encontrar o favorecimento dos seguintes aspectos importantes e essenciais de uma SEI:

- ***A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento***
 - *Através do estímulo do engajamento dos estudantes na leitura e interpretação da entrevista de JJ Thomson, os estudantes tem contato com a necessidade da sua própria tomada de consciência de seus atos (principalmente de leitura e participação nos debates em grupo) para a construção do conhecimento*
- ***As diferentes etapas das explicações científicas***
 - *Através da leitura do artigo é possível verificar (na história da ciência e nesse episódio especificamente) algumas etapas que são necessárias para a explicação de eventos científicos, mais precisamente, as etapas necessárias para a explicação da ideia do elétron como partícula.*
- ***A participação ativa do aluno; a***
- ***Importância da interação aluno-aluno; o***
- ***Ensino apartir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula; e***
- ***O papel do professor como elaborador de questões;***
 - *Estes quatro aspectos aparecem juntos, pois a atividade em grupos de debate do texto prescinde da participação ativa de todos os alunos, da interação entre eles (imprescindível para a criação e manutenção de uma zona de desenvolvimento proximal, parte das atividades sócio-interacionistas). E isso é possível se o professor assumir seu papel de elaborador de questões, conforme indicamos nas sugestões de questões durante a SEI. Também a necessária valorização, tanto pelo professor quanto pelos alunos , do conhecimento que o estudante traz para a sala de aula tanto de suas*

experiências fora da escola quanto do que pode apreender nas últimas atividades.

E a presença de favorecimento dos seguintes Indicadores de Alfabetização Científica:

- **Seriação de informações**

- *Quando os estudantes são estimulados a lembrarem dos conceitos vistos nos últimos encontros, busca-se, na SEI, estimular a seriação de informações acerca da caracterização das partículas. Mas também da busca de novas informações no texto que tragam mais dados sobre o assunto.*

- **Organização de informações**

- *A organização de informações tais como:*
 - Hipótese Teórica;
 - Fundamento Teórico;
 - Equipamentos disponíveis;
 - Realização do experimento;
 - Dados coletados - tabelas e figuras;
 - Dificuldades experimentais;
 - Conclusões
- *E assim os estudantes poderão classificar as informações, conforme as indicações que propomos na SEI.*

- **Classificação de informações**

- *Encontrando as informações no texto, os estudantes poderão classificar as informações conforme o que se esperava na organização das informações. Este indicador é promovido com a elaboração do texto adaptado seguindo essas mesmas orientações (que eram, nessa ordem, encontrados no artigo original de JJ Thomson).*

- **Levantamento de hipóteses**

- *O levantamento de hipóteses, neste caso, é um comparativo das ideias dos estudantes durante as atividades até agora efetuadas e as hipóteses que o Thomson propôs no seu artigo, e que estão explicitadas no texto adaptado.*

- **Teste de hipóteses**

- *O teste de hipóteses ocorre no debate interno dos grupos e é explicitado pelo professor, no debate geral. Ao verificarem que, no texto, JJ Thomson busca informações acerca da natureza dos Raios Catódicos, encontrando aspectos de uma partícula, podem verificar a validade de suas hipóteses nas conclusões que esse cientista apresenta*

- **Justificativas**

- *A SEI, com suas atividades prévias (feitas nos Encontros 1 e 2), e comparando com as informações obtidas no texto adaptado, fornece aos estudantes as possibilidades de encontrarem bases para suas argumentações, que, por sua vez, servirão de justificativas para suas ideias.*

- **Previsões**

- *A SEI também, através da sugestão de questionamentos ao professor, favorece a possibilidade de os estudantes elaborarem previsões acerca das características corpusculares do elétron. Os debates podem se seguir sobre os objetos da Natureza em geral, visíveis e invisíveis, desde estrelas e galáxias até átomos, prótons e neutrons, por exemplo.*

- **Explicação**

- *Após esses três encontros, a SEI propôs e forneceu material para que os estudantes possam explicar com razoável precisão e determinação, qual é a característica evidenciada por JJ Thomson para a Natureza do elétron*

8.2 Bloco 2: O que são ondas?

8.2.1 Encontro 4: Um modelo para ondas

Encontro 4: Um modelo para ondas

Atividade Investigativa: Futebol de Ondas

O Futebol de Ondas é um jogo criado para esta SEI, de forma a favorecer a verificação da diferença entre o comportamento das partículas e o comportamento das ondas. A montagem dele faz parte do problema que é evitar que uma onda chegue ao gol. Como no Futebol de Dedos, dois jogadores deverão marcar gols num jogo de futebol, mas em vez de uma bola, eles produzirão ondas que passarão (ou não) por obstáculos fixos (parafusos metálicos presos por ímãs no fundo de uma forma de alumínio, que servirá de campo, veja a figura).

Figura 7: Campo de Futebol de Ondas

Os grupos receberão uma forma de alumínio (assadeira 25cm x 35cm, por exemplo), um conjunto com dez parafusos e dez ímãs, e duas réguas de 30 cm. Água deve estar disponível para repor os campos.

Com uma régua produzirão ondas na água da assadeira para fazer gols na meta do adversário. E conforme os estudantes participam do jogo, eles podem modificar as posições dos jogadores (parafusos) até que não sofram mais gols. As características das ondas, especialmente difração e interferência estarão evidenciadas e, você professor, poderá, nas suas perguntas e questões conduzir seus alunos a perceberem essas características. Num primeiro momento, professor, sem necessariamente nomear os eventos observados, como difração e interferência, mas antes como “possibilidade de transpor obstáculos” e “ondas que se juntam e se separam”, respectivamente (pelo menos como ouvimos frequentemente em nossas salas de aula, na nossa experiência docente). Deixe para o debate final para sintetizar as observações, nomear as observações, destacando então os nomes difração e interferência.

Objetivos:

- Identificar os comportamentos de uma onda e utilizar esse modelo para reconhecer as ondas em outros ambientes;
- Perceber o comportamento da água na forma de bolo (no campo de futebol de ondas) como um evento em que a matéria tem comportamento ondulatório;
- Desenvolver a habilidade em manipular e criar ondas;
- Desenvolver senso crítico e habilidade em resolver problemas;
- Estimular o debate sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade;
- Estimular a curiosidade e o interesse;
- Estimular a perseverança, o consenso e a colaboração;

Discutindo a atividade:

Discuta com eles durante os jogos, não deixe para o final. Pare as partidas

durante um tempo, sugira a movimentação dos jogadores (parafusos), indique novas observações. Lembre aos alunos de que este jogo tem vários tempos, pois eles podem parar a partida a qualquer momento, em comum acordo com o colega, para reorganizar os jogadores (parafusos) ou para arrumar o goleiro (régua). Promovendo a discussão entre os alunos, professor, você pode fazer as questões abaixo:

- Conseguiu fazer gols? Como?
- Conseguiu defender seu gol? Foi fácil?
- Quais as dificuldades em defender seu gol das ondas?
- Vocês mudaram a disposição dos jogadores?
- Essa nova disposição evitou muitos gols?
- Quando vocês fizeram as ondas, o que aconteceu com a água ao redor dos jogadores?
- Parecia que os jogadores eram novas fontes de ondas?
- As ondas seguiam um caminho bem definido ou ficavam espalhadas pelo campo?
- Quando vocês faziam uma onda somente, por vez, era possível verificar se havia uma posição única da onda após ela passar pelos jogadores?
- Quando vocês faziam uma onda somente, chegava no gol uma ou mais ondas?
- As ondas sonoras também seguem o mesmo padrão? Ou seja, se eu gritar gol aqui a inspetora de alunos, que está no final do corredor da escola ouviria?
- Já viram efeitos assim antes?
- Quando uma onda interfere na outra ela cria novas ondas, como vocês falaram. Agora, vocês já viram ou ouviram isso no seu dia a dia?
- Já ouviram falar de interferência em estações de rádio?
- Como as rádios piratas podem atrapalhar as comunicações entre a torre de controle e os aviões?
- Já viram um filme sem som? Imaginem assistirem ao filme “Avatar” sem o som da selva?

Dessa forma os estudantes poderão participar, e algumas respostas (que pudemos perceber nesse nosso tempo de experiência docente) são semelhantes a:

- Nossa! Essas ondas são difíceis de barrar!
- Ah! Eu fiz muitos gols, mas não defendi nenhum...
- Tive que fazer uma barreira com os jogadores.
- É...mesmo assim algumas ondas passavam...
- Professor! Até parecia o facebook! Uma onda saía e depois de passar pelos jogadores, aparecia um monte de ondas!
- Eu consegui fazer gol de cobertura...
- Ah! Eu fiz gol de tabela...
- Ondas sonoras?
- E o eco? Como aparece o eco, professor?
- Na escola tem home theater, lá na sala de vídeo. Em cada caixa sai um tipo de som, até parece que a gente está dentro do filme!

Enquanto para quase todas as respostas o professor talvez esteja preparado, para as duas últimas pedimos que tome cuidado. Quando o aluno afirma ter feito gol por cobertura, necessariamente ele retirou parte da água do campo, o que não pode valer (caso contrário, é possível que comecem a jogar água uns nos outros!). Já o gol de tabela precisa fazer onda próximo das paredes, e mais precisamente, próximo do gol adversário, e nesse caso não houve separação (difração) da onda e o goleiro não defendeu (se o goleiro defender, a onda difrata e passa por ele).

De qualquer forma, sempre recomendamos jogar uma partida, ou várias, antes de apresentar a atividade para seus alunos, tendo em mente o comportamento deles, para estar melhor preparado para novas questões. Lembre-se, os estudantes sempre nos colocarão perguntas ou questões interessantes, e frequentemente nos colocarão em uma posição intrigante (o que achamos muito interessante para o desenvolvimento dos debates e da promoção da argumentação).

Questionamento final: Onde estão as ondas?

Caro professor, para generalizar o conceito de onda, você, como elaborador de perguntas e questões, pode conduzir os debates no sentido da generalização do

conceito de ondas. Partindo das sugestões de perguntas e questões da SEI, você pode argumentar a favor das duas características essenciais das ondas. Uma seria a difração, que seria uma “quebra” da onda em outras ondas ou uma “capacidade de transpor obstáculos”, como os estudantes podem responder ou compreender como as ondas passam pelos jogadores. E a outra a interferência (destrutiva e construtiva), que é o que ocorre quando há a “multiplicação” das ondas após passarem por um obstáculo.

Observações – Encontro 4

Neste encontro, podemos evidenciar alguns aspectos importantes e alguns aspectos essenciais de uma SEI:

- ***Da importância de um problema para um início da construção do conhecimento***
 - *Ao promover um Futebol de Ondas, a SEI pretende evidenciar duas características das ondas: difração e interferência. O problema então, no Futebol de Ondas, é evitar que o adversário faça muitos gols. Como isso é muito difícil, os alunos são convidados a variar suas táticas, até obter algum resultado com poucas ou nenhuma onda.*
 - *Em suas questões o professor pode tratar, além das ondas no meio denso como a água, de ondas sonoras e suas consequências como o eco, a difração, o espalhamento de ondas e sua aplicação no nosso cotidiano (curiosidade, turismo, efeito estereofônico, efeitos sonoros em cinema, entre outros), demonstrando a importância da compreensão dessas características das ondas*
- ***Da ação manipulativa para a ação intelectual***
 - *A Sei foi montada de forma que durante e após os jogos, o professor possa questionar os estudantes sobre os aspectos das ondas evidenciadas pela atividade.*
- ***A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento***
 - *A participação dos estudantes durante as partidas e a manipulação dos jogadores (parafusos), estimuladas pela sequência, favorece a conscientização dos alunos da importância de seus atos na atividade, para a construção do seu conhecimento.*
- ***As diferentes etapas das explicações científicas; e***
- ***A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica***
 - *Iniciando as atividades, valorizando a participação dos estudantes e o conhecimento que eles trazem para a sala de aula, o professor também irá,*

na sintetização das informações, mostrar algumas formas de explicações, partindo da explicação com linguagem cotidiana para a linguagem científica.

- *Assim, as etapas da explicação científica sobre o comportamento de ondas, podem ser favorecidas partindo das ações manipulativas seguindo para a ação intelectual.*
- **A participação ativa do estudante; e**
- **A importância da interação aluno-aluno**
 - *Estes dois aspectos estarão favorecidos pela atividade de jogo, com a necessidade de dois estudantes para fazer um bom jogo.*
 - *Sem a participação ativa do aluno e sem a interação aluno-aluno, o jogo não será executado com correção. Portanto, a ação positiva do professor como elaborador de questões, favorecida pela sequência, pode estimular os estudantes a interagirem e participarem ativamente.*
- **O papel do professor como elaborador de questões; a**
- **Criação de um ambiente encorajador; e**
- **O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula**
 - *O professor, nesta atividade da SEI, é orientado a fazer algumas questões (e criar outras) de forma a conduzir, tanto no jogo quanto os debates, as observações acerca das características ondulatórias da matéria.*
 - *Dessa forma a SEI favorece, através do estímulo ao professor em ser questionador, a ele criar também um ambiente encorajador, valorizando o conhecimento que o aluno traz para a sala, da sua vivência com brincadeiras com água em casa (conduzindo a linguagem cotidiana para uma linguagem científica).*
 - *Estes três aspectos favorecem a promoção da argumentação no processo de interação aluno – aluno e aluno – professor.*
- **O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno**
 - *O problema (ganhar o jogo, evitando o gol do adversário e fazendo o maior número de gols de ondas) traz para a sala de aula um desafio, que é o bloqueio das ondas, com suas dificuldades.*
 - *Ao transpor o problema das ondas na água do jogo para as ondas sonoras (como sugerido na SEI), por exemplo, o professor traz para a sala mais significado para o problema, ampliando o conceito de ondas em água para*

ondas sonoras e até para ondas eletromagnéticas (interferência nas transmissões de rádio, por exemplo).

- **A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade**

- O professor, como elaborador de questões, conduz os debates para, por exemplo, os efeitos sonoros dos filmes (como indicado na SEI). O desenvolvimento e o uso de aparelhos de home theater, por exemplo, é outro caso que pode surgir nos debates com os alunos.
- Neste caso, não estamos estimulando um engajamento do estudante na inserção da Ciência e na Tecnologia na Sociedade, mas favorecendo a compreensão do estudante para a relação entre a Ciência e a Tecnologia com o bem estar, com o lazer principalmente, da sociedade.
- Porém a SEI, que estimula o professor a ser um elaborador de questões, favorece a discussão acerca do acesso ao lazer por toda a Sociedade.

E também podemos verificar o favorecimento de Indicadores de Alfabetização Científica:

- **Seriação de informações**

- No início da atividade, os alunos são estimulados a compartilhar suas experiências trazidas do campeonato de Futebol de Dedos. Assim, poderão comparar as informações obtidas com as partículas com as observações das ondas no Futebol de Ondas.

- **Organização de informações**

- Durante a partida de Futebol de Ondas, os alunos são orientados a organizar as informações, uma vez que a SEI favorece (indica) a mudança de jogadores (parafusos) durante a partida, de forma a evitar gols.
- Ao mover os jogadores o estudante está organizando as informações, pois necessita rever suas ideias acerca de ondas, de forma a evitar os gols do adversário.

- **Classificação de informações**

- Durante as primeiras discussões, os alunos são estimulados através de questionamentos do professor a classificar suas informações, partindo da linguagem cotidiana e seguindo para a linguagem científica.

- **Levantamento de hipóteses**

- *Após as primeiras partidas, os estudantes já estarão preparados para levantar hipóteses, estimulados pelo professor. A SEI proporciona, neste caso, a possibilidade de o estudante levantar suas hipóteses acerca do comportamento das ondas no jogo.*

- **Teste de hipóteses**

- *A SEI promove a ação manipulativa com algumas possibilidades de formação de ondas, o teste de hipóteses durante as partidas (nos tempos pedidos durante o jogo), com a movimentação de jogadores (parafusos) e com o posicionamento do goleiro (régua).*

- **Justificativa**

- *Após os testes e durante as partidas ainda ou durante o debate final, os estudantes são estimulados, através de questionamentos do professor, a justificarem suas ações e seus testes, também preparando-se para fazer previsões, tanto manipulativamente (movendo seus jogadores e goleiro) quanto intelectualmente (criando, testando e justificando hipóteses).*
- *Aqui o estudante está apoiado pela SEI, em apresentar suas ideias, e favorecendo o processo de argumentação.*

- **Previsão**

- *Testando as suas previsões com a movimentação dos jogadores e do goleiro, já demonstra a SEI, o favorecimento da elaboração de previsões pelos estudantes.*

- **Explicação**

- *Certa ou errada a movimentação dos jogadores pelos estudantes, a SEI favorece a possibilidade de os alunos formarem explicações de suas ações manipulativas e intelectuais.*
- *Para encerrar o processo argumentativo, o estudante pode sintetizar neste momento, suas ideias, num padrão aproximado do de Toulmin. Uma vez que a sequência promove atividades e questionamentos, através do professor, de forma a favorecer a obtenção de bases para os argumentos dos estudantes.*

8.2.2 Encontro 5: Difração com Raios Catódicos

Encontro 5: Difração com Raios Catódicos

Objetivos:

- Identificar quais imagens podem aparecer no tubo de raios catódicos e como modificá-las;
- Utilizar o modelo de ondas para classificar os Raios Catódicos ;
- Manipular um aparelho de alto custo e de Física Moderna;
- Investigar e organizar conceitos de ondas;
- Sintetizar o conceito de ondas e generalizá-lo para os Raios Catódicos
- Compreender como os cientistas trabalham;
- Estimular a curiosidade e o interesse pela Ciência e pelo desenvolvimento e uso da tecnologia;
- Estimular a colaboração e o consenso;

Atividade de Demonstração Investigativa: E agora? Aumentando a velocidade dos elétrons como eles se comportarão na tela do aparelho?

Caro professor, antes de ligar o aparelho, discuta o seu uso como aparelho de TV antiga (televisor de tubo) e como tubo de raios X. Lembre que nas TV's as tensões chegam a 25 mil volts (e até mais, dependendo do tamanho do aparelho) e nos aparelhos de raios X as tensões estão em cerca de 30 mil volts (ou mais, dependendo do uso, se for médico, se for científico ou se for tecnológico).

Utilize o aparelho de raios catódicos na experiência de GP Thomson - variando o diâmetro dos círculos de difração, para isso aumente e diminua a tensão nas placas de aceleração. O problema surge justamente nesse ponto: aumentando a velocidade do elétron a imagem no tubo muda de um ponto para um, dois ou três círculos concêntricos.

Resgatando as ideias sobre ondas discutidas na Encontro 1, focalizando a

atenção nas coisas necessárias para que se possa caracterizar uma onda, professor, discuta com os estudantes sobre o que eles esperam ver antes de ligar o aparelho, sobre quais as possíveis explicações das formas observadas (sempre uma de cada vez) e sobre como os efeitos ondulatórios de difração e interferência podem ser utilizados para explicar o fenômeno.

O feixe de elétrons passa por uma folha de alumínio no aparelho que indicamos nas referências e nas fotos. Porém, nos simuladores na internet, aparecem folhas de elementos químicos diferentes, como carbono e ouro. E enquanto no experimento real os anéis tem bordas borradas, nos simuladores os anéis tem bordas bem definidas. Mas funcionam bem.

Figura 8: Aparelho de Difração de Elétrons – modelo utilizado no laboratório de Física Moderna no IFUSP

Discutindo a atividade:

- Como podemos explicar a figura observada na tela?
- Podemos afirmar que os elétrons estão com outro comportamento?
- Esse comportamento é semelhante ao das ondas, conforme vimos na atividade anterior?
- Se no experimento de JJ Thomson ocorria um ponto luminoso que somente atingia outros pontos da tela sob a ação de um ímã, como podemos explicar que os elétrons atingem a tela em outros pontos somente com o aumento da tensão de aceleração?

- Podemos utilizar nosso modelo de ondas aqui? Mesmo com ondas circulares?
- As manchas claras e escuras são características da difração e da interferência de onda quando batem em um obstáculo. Vocês acham que é o caso aqui, neste experimento?
- Como as características ondulatórias, interferência e difração estão presentes na experiência, vocês podem afirmar que o elétron é uma onda?
- Podemos observar esses efeitos na TV?
- Ou nas radiografias?
- Será que o desenvolvimento e o uso dos aparelhos de Raios Catódicos melhorou a vida do cidadão comum? Como?
- Como o televisor é um aparelho de raios catódicos que apresenta as ondas das emissoras de televisão, se a imagem sofre interferência você saberá imediatamente se é um problema com a transmissão ou com o seu televisor?

Questionamento final: Os Raios Catódicos, então, têm comportamento de ondas?

Caro professor, para este questionamento final, sintetizando as informações, você pode conduzir as discussões para a caracterização dos elétrons como ondas, devido ao comportamento que tiveram os Raios Catódicos como ondas.

Os seus alunos poderão ter diversas respostas, mas mantenha-se focado em favorecer os debates em torno das características das ondas, especialmente difração e interferência. Um dos dilemas que já podem surgir agora é se os Raios Catódicos podem ser ondas e partículas ao mesmo tempo. Sugerimos que, se houver esse questionamento, responda que até o presente momento a turma não tem ferramentas para analisar essa questão. E isso é exatamente o que ocorre no trabalho do cientista. A Ciência não tem a resposta para tudo, e está sempre buscando novas informações da Natureza, para compreendê-la melhor.

Observações – Encontro 5

Neste encontro, podemos evidenciar alguns aspectos importantes e alguns aspectos essenciais de uma SEI:

- ***Da importância de um problema para um início da construção do conhecimento***
 - *O problema colocado foi uma consequência do uso do aparelho de raios catódicos. Aumentando a tensão nas placas de aceleração, consequentemente aumentando a velocidade dos Raios Catódicos, obteremos o mesmo comportamento desses raios?*
 - *Como existem aparelhos de diversos formatos e tamanhos, com tensões variadas, como os aparelhos de televisão, é necessário um controle da imagem para que ela não fique estática e na forma de anéis. Assim, para se conhecer os fundamentos, o desenvolvimento e os usos desses aparelhos, foi colocado um problema que parte de uma situação já conhecida, mas com uma pequena variação na tensão.*
- ***Da ação manipulativa para a ação intelectual***
 - *A segurança do aluno está em primeiro lugar. E a manutenção de aparelho de alto custo também deve ser prioridade. Então, apesar de ser uma atividade demonstrativa, o professor pode permitir aos alunos, em grupos, manipularem o aparelho. Se for uma simulação, não há riscos de choque elétrico.*
 - *Mesmo assim, a SEI foi montada favorecendo a ação manipulativa do estudante (de forma real ou virtual). E os debates favorecem a argumentação no processo.*
- ***A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento***
 - *A SEI favorece a tomada de consciência dos atos dos estudantes para a construção do conhecimento, quando traz para a aula atividades que necessitem da intervenção dos alunos durante a execução das tarefas.*
 - *E mais, quando a sequência propõe questões que facilitam a transição das ações manipulativas para as ações intelectuais. Facilitando também o*

levantamento de hipóteses, quando das dificuldades na defesa do gol contra o adversário, no jogo, uma vez que é necessário fazer gols com ondas.

- *Finalmente o processo de argumentação dos estudantes é favorecido com a transição das ações manipulativas para as ações intelectuais, durante os questionamento do professor (durante a aplicação do jogo ou ao final, nos debates finais).*
- **As diferentes etapas das explicações científicas**
 - *Com o favorecimento de atividades diversificadas e debates em conjunto, o professor, como elaborador de questões, pode demonstrar, como sugerido pela sequência, as diferentes etapas das explicações científicas.*
 - *Durante os processos de argumentação, nas interações aluno-aluno e aluno – professor, o professor evidencia algumas formas de fazer Ciência, como a observação de eventos naturais, a modelagem de ideias (levantamento de hipóteses), teste de hipóteses e previsão de novos eventos. E isso será favorecido pela experiência de GP Thomson promovida pela SEI.*
- **A participação ativa do estudante; e**
- **A importância da interação aluno-aluno**
 - *Com a promoção de atividade interativa, a participação ativa do aluno é requerida. Num jogo em que um aluno deve fazer gols com ondas e um outro deve defender sua meta da melhor forma possível, os estudantes precisam atuar ativamente para atingirem os objetivos da atividade.*
 - *Nesta atividade, em que grupos de estudantes devem participar ativamente, a interação aluno-aluno é favorecida, e estimulada pelos questionamentos do professor, de forma que os alunos possam seriar as informações, organizá-las e classificá-las. Assim, poderão obter bases para sua argumentação, que serão exigidas nos debates e no debate final.*
- **O papel do professor como elaborador de questões**
 - *Nesta atividade, diferentemente das outras anteriores, o papel do professor como elaborador de questões é mais exigido. Apesar de a SEI fornecer alguns tipos de questões, não serão suficientes para abarcar toda a gama de possibilidades de inquições dos estudantes.*

- *As questões e as perguntas deverão auxiliar os estudantes na compreensão das características das ondas de tal forma que possam aplicar ao caso da experiência de GP Thomson.*
- **A criação de um ambiente encorajador**
 - *Tanto a atividade promovida através da SEI quanto os questionamentos do professor favorecem a criação de um ambiente encorajador. Através do experimento de GP Thomson*
- **O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula**
 - *Com a complexidade crescente dos processos de argumentação favorecidos pela nossa sequência, o aluno traz para esta atividade conceitos das outras quatro atividades já executadas, principalmente os conceitos de partícula e onda vistos nos encontros anteriores.*
 - *Os questionamentos propostos pelo professor, e indicados na SEI, favorecem a valorização desse conhecimento, tanto o adquirido nas atividades anteriores da sequência quanto os adquiridos pelos estudantes fora do ambiente escolar.*
- **O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno**
 - *O problema a ser resolvido é uma parte importante de uma SEI, e nesta atividade o problema é verificar se o comportamento dos raios catódicos se mantém com o aumento da velocidade de suas partículas.*
 - *O problema torna-se mais significativo quando, com seus questionamentos, o professor favorece a ampliação do significado dos raios catódicos, discutindo com os estudantes a relação entre os raios catódicos e os aparelhos de televisão e de raios X.*
- **A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade**
 - *E quando a SEI favorece o desenvolvimento do papel do professor como elaborador de questões, nesta atividade, também favorece a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.*
 - *Quando os estudantes são defrontados com as relações entre o desenvolvimento do entendimento e da compreensão da estrutura do elétron, também são defrontados com o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia, e como elas podem estar presentes na nossa Sociedade (através do lazer, trazido pelas TV's ou através da medicina, trazido pelos raios X).*

- **A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica**

- *O fato de os alunos serem levados ao debate de suas ideias, e com o desenvolvimento dos processos de argumentação, fará com que a linguagem que eles utilizam seja valorizada, ampliada, ao serem defrontados com as nomenclaturas das características das ondas.*
- *A linguagem científica favorecida pela nossa sequência parte para difração e interferência no âmbito dos raios catódicos, mas não somente neles. Serão utilizadas nas formulações de ideias acerca das ondas sonoras e eletromagnéticas também.*

E também podemos verificar o favorecimento de Indicadores de Alfabetização Científica:

- **Seriação de informações**

- *Na atividade, os estudantes são levados a seriar as informações que percebem no decorrer do tempo. Verificam a existência de algumas características já observadas em atividades anteriores (e que o professor, em seus questionamentos, relembra) de partículas e ondas.*

- **Organização de informações**

- *Em seus grupos, os estudantes poderão, manipulando o aparelho, organizar suas informações, separando as características específicas de partículas das características de ondas.*

- **Classificação de informações**

- *Ao classificarem as informações, estarão no caminho da transição entre a ação manipulativa e a ação intelectual, preparando-se para as próximas etapas, levantando hipóteses e testando-as.*

- **Levantamento de hipóteses**

- *Neste momento os estudantes levantam as suas hipóteses, uma vez que, após a observação e a ação manipulativa dos raios catódicos, podem discutir suas ideias e levantar suas hipóteses, pois a sequência favoreceu a transição*

da ação manipulativa para a ação intelectual, através do material à disposição e dos questionamentos sugeridos e elaborados pelo professor.

- **Teste de hipóteses**

- *Durante a demonstração investigativa, os estudantes podem participar ativamente sugerindo ações para o professor. Caso seja possível a colaboração e o desenvolvimento da responsabilidade dos alunos, os grupos poderão manipular o aparelho. Dessa forma, conforme as sugestões da SEI, os estudantes poderão testar suas hipóteses.*
- *E ainda, durante as discussões, será possível testar as hipóteses, pois os grupos podem ou pedir ao professor demonstrar a atividade novamente ou testarem, eles mesmos, manipulando o aparelho.*

- **Justificativa**

- *Uma vez que a sequência já tenha favorecido o desenvolvimento dos outros indicadores de alfabetização científica, favorecido a experimentação e a estruturação da informações, os estudantes estarão com ferramental teórico suficiente para ter uma base de argumentação, garantias para essa base, elementos para elaborar refutações e subsídios para um qualificador modal. E assim, as justificativas dos alunos para as suas hipóteses e seus testes estão favorecidas pela sequência, dentro de um padrão de Toulmin.*
- *Então a SEI favorecerá uma argumentação do tipo: se ocorrem anéis na tela do aparelho de raios catódicos, e os anéis são características das ondas (conforme nós vimos no futebol de ondas), então, se não tiver falhas no aparelho, possivelmente os raios catódicos, quando em alta tensão, tem um comportamento semelhante ao das ondas.*

- **Previsão**

- *Nas discussões entre os alunos, na interação aluno-aluno, e na interação alunos-professor nos debates gerais, com o trabalho de questionador, o professor poderá verificar as ideias para as previsões de eventos. Isso tanto antes de ligar o aparelho, quanto no final da atividade, nos debates.*
- *A previsão poderá surgir também da estruturação das informações, da transição da ação manipulativa para a ação intelectual, e ao final, quando o grupo, em seu processo de argumentação, prevê o comportamento dos raios catódicos com outras substâncias como barreiras (que não só o alumínio).*

- **Explicação**

- *Novamente a sequência favorece o aparecimento de um padrão de argumentação de Toulmin. Quando o professor requer dos grupos uma síntese das observações e das discussões, nas explicações fornecidas pelos estudantes estarão favorecidas as possibilidades de explicação, num modelo semelhante ao de Toulmin.*
- *Assim, quando os grupos explicarem suas ideias acerca dos anéis concêntricos dos raios catódicos, utilizarão sua base de conhecimentos (favorecida anteriormente pelas atividades da SEI).*

Texto: *Entrevista com GP Thomson*

O ELÉTRON PODE SE COMPORTAR COMO UMA ONDA!

Nesta entrevista com o físico inglês GP Thomson, tentaremos entender um pouco mais desta nova Física que se apresenta no horizonte. Ele nos ajudará a pensar a matéria como ondas. Com base nas novas ideias sobre o comportamento de raios e da matéria subatômica em voga hoje, estimulado por outros cientistas contemporâneos da Europa, chegou a conclusões interessantíssimas. Esses experimentos, então, já estavam sendo feitos por outros pesquisadores. Os pesquisadores Dymond, Davisson, Kunsman e Germer. Mas um diferencial importante o senhor GP executou: colocou o feixe de raios catódicos incidindo, colidindo diretamente em placas muito finas de metal, fazendo com que os raios e as placas ficassem realmente a 90° um com relação à outra. E ele utilizou como alvos dos raios catódicos folhas finas de alumínio, ouro e celulóide.

Publicamos agora uma entrevista que o senhor GP Thomson cedeu a nossa correspondente Renilde Lopes, na sucursal de Londres, Inglaterra, da editoria do caderno de Ciência desta Folha de Aracaju. Esta é a segunda entrevista de três, com representantes da Física, com nosso intento de compreender o que é essa “coisa” chamada elétron, o menor componente da matéria.

Figura 9: *GP Thomson*

Renilde Lopes: O seu artigo de 1928 na “Proceedings of the Royal Society of London, series A” mostra que os experimentos que o senhor fez foram sobre difração dos Raios Catódicos. Como a difração é uma característica das ondas, o senhor já supõe que esses raios são ondas?

GP Thomson: Obrigado Renilde. É uma boa questão. *Mister Louis de Broglie* introduziu uma teoria da mecânica de forma que o movimento da partícula possa ser compreendido como um grupo de ondas, cuja velocidade e cujo comprimento de onda são governados pela rapidez e pela a massa da partícula.

RL: Quais seriam as consequências das ideias propostas por de Broglie?

GP: *As consequências desta teoria foram trabalhadas por de Broglie, Schrödinger e outros cientistas e aplicada em problemas de espectroscopia onde eles alcançaram soluções para muitas dificuldades com o abandono das teorias anteriores das órbitas. Também essa teoria mostrou-se muito boa para predizer eventos, melhor do que meramente explicar, como ocorria com as teorias anteriores.*

RL: No que sua experiência é diferente das experiências dos outros pesquisadores?

GP: *As experiências descritas nesse artigo avançaram a matéria um estágio mais. Estas experiências foram começadas no ano passado com a idéia da ampliação do experimento de Dymond com espalhamento em películas sólidas de elétrons mais rápidos. Os resultados obtidos agora, entretanto, são mais bem analisados de um ponto de vista ligeiramente diferente do que se aplica ao trabalho de Dymond.*

RL: Qual seria esse ponto de vista diferente do de Dymond?

GP: *Na teoria de de Broglie, o elétron é considerado como um grupo de ondas e seu movimento através da matéria é determinado por considerações da dispersão e difração. Para elétrons de 25 mil volts de energia o comprimento de onda calculado da fórmula é aproximadamente 0.75×10^{-9} cm. Isto é da ordem daquele de raios X duros, e as ondas associadas com os elétrons desta energia devem comportarem-se em vários aspectos como raios X duros. Em particular os elétrons devem mostrar efeitos de*

difração quando passados através de um cristal idêntico como aqueles mostrados por Raios X do mesmo comprimento de onda.

RL: E seria possível distinguir os raios X de Röntgen dos elétrons com muita energia?

GP: Sim, é possível. Ao contrário dos raios X os elétrons são deflexionados por campo elétrico e por campo magnético. Eles carregam uma carga, e para comprimentos de onda iguais, têm muito menos energia e menos poder penetrante.

RL: O senhor poderia descrever melhor o seu aparelho e a sua experiência?

Figura 10: Aparelho de Difração de Elétrons – modelo utilizado por GP Thomson

GP: Na essência, os experimentos podem ser descritos como no envio de um feixe de raios catódicos aproximadamente homogêneo através uma película muito fina em incidência normal [a 90° entre o feixe e a superfície do filme] e recebê-los em uma chapa fotográfica alguma distância atrás. Se o filme é composto por um número de pequenos cristais dispostos ao acaso, devemos obter um padrão de difração e interferência idêntica à obtida com raios-X do mesmo comprimento de onda [em um aparelho de Hull-Debye-Scherrer].

RL: Mais alguma outra condição?

GP: *Apenas outra condição necessária é que o filme deve ser tão fino que o elétron em sua passagem por ele é apenas espalhado, uma vez que, caso contrário o padrão vai ser borrado. Ele é este requisito que dá origem às maiores dificuldades experimentais e de contas para o efeito, não tendo sido observado antes.*

RL: Quais substâncias o senhor utilizou como alvo para os elétrons? Algum motivo especial para essas escolhas?

GP: *Os resultados foram obtidos com filmes de alumínio, ouro, celulóide, e uma substância X (no primeiro momento pensamos ser platina), são mostrados nas chapas a seguir. [veja ao final da entrevista]. Os materiais que serviram de filmes são maleáveis e podem ficar muito finos, de forma a não atrapalharem a passagem dos elétrons, como já disse antes.*

RL: E qual era essa substância X?

GP: *Não foi possível identificá-la com clareza. Foram montados dois filmes com esse material, acidentalmente quando se limpava o tubo, o material ficou em flocos de 2 a 3mm. Dois desses flocos, os mais finos, foram montados e testados no nosso aparelho. O mais fino mostrou anéis internos bem marcados, e outro muito fraco cerca de duas vezes o tamanho. O anel interno variava de tamanho conforme a tensão elétrica aplicada ao catodo de forma familiar. Entretanto, o tamanho absoluto do anel era metade do que era o esperado para a platina. Um valor quase igual ao valor dos anéis do celulóide, mas para uma substância bem mais fina.*

RL: E foi possível montar filmes de platina?

GP: *Foram infrutíferas as tentativas, pois os filmes sempre quebravam ao secar na montagem. Isto aumenta a probabilidade de que os filmes em questão não eram platina. É difícil preparar películas finas de platina pelos métodos que foram bem sucedidos com ouro e alumínio, e eu fui incapaz de obter uma folha suficientemente fina para começar.*

RL: E ocorreram outras dificuldades?

GP: Nenhuma outra digna de nota.

- RL:** Quais efeitos você encontrou então nas análises das fotos desses filmes?
- GP:** *Pode ser visto que, em todos os casos, o efeito geral é o de uma série de anéis concêntricos ao redor de um local feito por feixe de elétrons não defletidos. Em alguns casos, estes anéis são uniformes, em forma de circunferência, em outros, a intensidade é mais ou menos concentrada em uma série de manchas nessa circunferência. Isso demonstra que não pode haver nenhuma dúvida de que o padrão de tudo é devido aos raios catódicos, que foram desviados pelo filme. Assim, na ausência do filme, só o ponto central é visto, e se um ímã é colocado perto do feixe, todo o padrão é deslocado junto. Em todos os casos o padrão mostrou o ponto no centro dos anéis, mostrando que esse ponto e os anéis tinham sido desviados juntos. Esses anéis e esse ponto são devidos a raios catódicos que tem aproximadamente as mesmas velocidades.*
- RL:** Os anéis que apareceram na tela do aparelho [veja figura abaixo] estavam ligados a quê?
- GP:** De uma forma mais fácil de compreender, os tamanhos dos anéis estão relacionados com a energia dos elétrons e com a sua velocidade.
- RL:** É possível repetir o seu experimento em uma sala de aula, por exemplo?
- GP:** Corretamente. Caso alguns estudantes sérios queiram repetir o procedimento, com os aparelhos atuais basta variar a diferença de potencial entre os terminais de aceleração e medir os diâmetros dos anéis que são formados no ecrã do aparelho. Os padrões de difração para cada tipo de material aparecerá na tela.
- RL:** Além dos anéis, evidenciando a difração dos raios catódicos, o que mais surgiu como resultado do seu experimento?
- GP:** O acordo estreito mostrado no nosso trabalho com a teoria de Louis de Broglie *deve, eu penso, considerar como forte evidência a seu favor. Parece impossível explicar os resultados obtidos exceto que se assuma algum tipo de difração, e então o acordo numérico com o comprimento de onda dado pela teoria é gritante. Deve-se salientar que não existem constantes ajustáveis; o acordo é direto com exceção de um cinco por cento erro. E esta é uma importante questão: se este erro é um erro*

experimental devido à medição da velocidade dos raios, ou se representa alguma correção sobre a teoria simplesmente [Davisson e Germer obtiveram resultados com mesmo erro em sua experiência]. Novas experiências sobre esta questão estão em andamento.

RL: Suas conclusões então mostraram que as teorias de Louis de Broglie e de Schrödinger são satisfatórias. Podemos então afirmar que os raios catódicos são elétrons e se comportam como ondas?

GP: Certamente, como já afirmamos durante a entrevista. Partimos da hipótese de que os raios catódicos são compostos por elétrons, ou melhor, por um grupo de elétrons e que, segundo de Broglie e Schrödinger, apresentam comportamento de um grupo de ondas.

RL: Obrigada pela entrevista e boa semana!

GP: Seja sempre bem vinda! Espero ter ajudado os seus leitores quanto à minha visão sobre a natureza dos raios catódicos.

Thomson.

Roy. Soc. Proc., A, vol. 117, Pl. 19.

Figura 11: Foto das figuras de difração que GP Thomson obteve em seu experimento

8.2.3 Encontro 6: Conversando com GP Thomson

Encontro 6: Conversando com GP Thomson

Objetivos:

- Testar a hipótese de GP Thomson sobre as características ondulatórias dos Raios Catódicos;
- Classificar os raios catódicos como ondas;
- Investigar e organizar as informações de um texto;
- Sintetizar as ideias fundamentais explicitadas no texto;
- Conhecer o trabalho e como trabalha um Físico experimental;
- Estimular a colaboração na leitura;
- Desenvolver o interesse pela História da Ciência;

Atividade: Leitura do texto “Entrevista com GP Thomson”.

Caro professor, ao entregar o texto, peça para que os estudantes leiam em suas casas antes. Mesmo assim, durante o Encontro 6, leia com os seus alunos essa entrevista. Deixe bem claro quais são as perguntas a serem respondidas ou encontradas no texto (veja logo a seguir).

Essas perguntas poderão direcionar as discussões nos grupos, e também favorece a compreensão do aspecto histórico e a sua importância no âmbito da História da Ciência. Lembrando que o texto histórico foi montado sobre o artigo original de GP Thomson, de forma que os paradigmas da Física na época em que foi escrito, fossem considerados e mantidos no texto adaptado.

O problema a ser debatido em grupos, e com a turma, está relacionado com o uso da teoria de ondas para caracterizar os raios catódicos. Para isso a entrevista com GP Thomson sobre a experiência com os Raios Catódicos, foi feita pensando em responder, da melhor forma possível, questões do tipo:

- Quais as hipóteses de GP Thomson para os Raios Catódicos?
- Qual seu fundamento teórico?
- Quais os equipamentos disponíveis?
- Como foi a realização do experimento?

- Quais foram os dados coletados? Existem tabelas e figuras?
- Existiram dificuldades experimentais?
- Quais foram as suas conclusões?
- O aparelho utilizado é semelhante ao do JJ Thomson, ou ao do laboratório do IFUSP, ou até semelhante ao simulador da internet?
- Como GP Thomson utilizou a teoria das ondas de matéria de Louis de Broglie em seus trabalhos?
- Vocês acham que as sociedades inglesa e a francesa tem visões semelhantes à nossa sociedade brasileira sobre o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia?
- O que vocês imaginam que os cientistas brasileiros estavam pesquisando na mesma época em que o artigo descrito no texto foi originalmente escrito?
- O desenvolvimento das sociedades inglesa e francesa foi melhor que o da brasileira nestes últimos anos? Ou pelo menos desde que o artigo original foi escrito?
- Na sua opinião, o bem estar de uma população está relacionado com o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia?
- Uma população pode viver bem sem ter desenvolvimento científico e tecnológico?

Questionamento final: Então o raio catódico é uma onda?

Caro professor, após a leitura e as discussões iniciais dentro dos grupos de alunos, e após as discussões finais com todos os grupos, os estudantes estarão com algumas dúvidas acerca da natureza dos raios catódicos. A elaboração de questões favorece, na atividade de leitura do texto histórico, o direcionamento para a compreensão das ideias de GP Thomson.

Mesmo que, no início do texto o pesquisador GP Thomson deixa claro que quer demonstrar que os raios catódicos são ondas, retomando as ideias de Louis de Broglie sobre ondas de matéria, GP descreve uma série de experiências feitas para demonstrar exatamente isso. Ou seja, parte de suas hipóteses para depois testá-las,

e finalmente obter a conclusão sobre a validade da teoria.

Assim, ao agrupar as ideias das atividades anteriores, você, professor, deve ter o cuidado em deixar claro a intenção de explicitar os aspectos ondulatórios dos raios catódicos, e que tinha sido evidenciado por GP no século passado.

Observações – Encontro 6

NESTE ENCONTRO PODEMOS EVIDENCIAR ALGUNS ASPECTOS IMPORTANTES E ALGUNS ASPECTOS ESSENCIAIS DE UMA SEI:

- ***Da importância de um problema para um início da construção do conhecimento***
 - *Em toda a atividade estamos tentando propor um problema para que os estudantes o resolvam. E esse problema deve ter significado. A resolução desse problema deve fornecer subsídios para uma argumentação acerca das ideias de GP Thomson sobre a estrutura dos raios catódicos. Assim, mesmo na leitura de um texto histórico, tivemos a preocupação de fornecer um problema. No caso da entrevista de GP Thomson, o problema está em compreender suas ideias acerca da característica ondulatória dos raios catódicos.*
- ***Da ação manipulativa para a ação intelectual***
 - *Com a leitura desse texto histórico, a sequência favorece mais uma vez a transição das ações manipulativas executadas nos dois primeiros encontros deste bloco, para as ações intelectuais.*
 - *E mais, não somente favorecendo a aprendizagem das características ondulatórias dos raios catódicos, como também acerca dos paradigmas relacionados aos conhecimentos físicos da época, que podem ser explorados durante os processos de argumentação, favorecidos pela SEI.*
- ***A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento***
 - *A participação ativa do estudante na leitura e no debate do texto é uma característica importante e que favorece a compreensão dos alunos da importância da conscientização de seus atos para construir seu conhecimento.*
 - *A leitura desse texto histórico, especificamente, favorece o desenvolvimento dessa consciência, pois George P Thomson parte de uma teoria, de Louis de Broglie sobre ondas de matéria, para verificar sua validade em uma série de experimentos. Esse é um bom exemplo da História da Ciência sobre como um cientista age para construir conhecimento. E a SEI favorece esse*

evidenciamento tanto pelas questões propostas quanto pelo estímulo ao professor como um elaborador de questões.

- **As diferentes etapas das explicações científicas**

- *Os estudantes já vivenciaram, dentro das atividades desta SEI algumas das etapas das explicações científicas, e podem verificar esses procedimentos e essas mesmas etapas na leitura de um texto histórico como este, apresentado na SEI.*

- **A participação ativa do estudante; e**

- **A importância da interação aluno-aluno**

- *Estes dois aspectos estão favorecidos em conjunto tanto pela ação individual sugerida na SEI para uma leitura prévia do material antes deste sexto encontro, como também a sua postura como debatedor em seu grupo, na interação entre alunos.*

- **O papel do professor como elaborador de questões**

- *O professor tem um papel fundamental em manter o interesse dos alunos com as atividades propostas, mesmo com a leitura de um texto. Quando a SEI propõe questões para o professor debatê-las na aula, está fornecendo subsídio para tornar esse professor um elaborador de questões, mesmo fora do contexto do laboratório. E ainda assim, favorece a estruturação de informações, o levantamento de hipóteses e as explicações dos estudantes acerca das ideias de GP Thomson sobre o comportamento ondulatório dos raios catódicos.*
- *O debate estimulado pela leitura do texto favorece o desenvolvimento de indicadores de alfabetização científica, na sala de aula, e sua comparação com os processos de construção do conhecimento por cientistas, em seus laboratórios (experimentais, como GP Thomson) ou escritórios (teóricos, como Louis de Broglie).*

- **A criação de um ambiente encorajador**

- *A sequência favorece essa criação fornecendo exemplos de questões para o professor, fornecendo um texto histórico relacionado com os aspectos ondulatórios dos raios catódicos e favorecendo a participação ativa dos estudantes, através do estímulo ao professor como elaborador de questões, sugerindo a ele não somente utilizar as questões sugeridas na SEI, mas*

também buscando no conhecimento que ele mesmo traz para a sala de aula (indicando a leitura e a pesquisa prévias e os testes nas experimentações, por exemplo).

- **O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula**
 - *Neste caso, é evidente a preocupação da sequência, uma vez que favorece a construção de um conhecimento de partículas e ondas nos encontros anteriores.*
 - *Mesmo assim, indica ao professor questionar os estudantes acerca de suas ideias sobre ondas e sobre o que viram nas atividades, relacionando com o que leram, subsidiando as bases, as garantias, as refutações e os qualificadores para uma argumentação dentro de um modelo de Toulmin.*
- **O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno**
 - *Após uma série de atividades relacionadas com a compreensão da natureza e da estrutura da matéria, estudando partículas e ondas, o conteúdo proposto na atividade do Encontro 6, propõe um problema acerca da natureza e da estrutura dos raios catódicos. Partindo de uma teoria sobre ondas de matéria, o texto traz informações sobre como foi aplicada a teoria no estudo dos raios catódicos. O problema torna-se significativo quando favorece a ampliação e generalização do conceito de ondas para outros objetos, que não necessariamente o estudante vê, mas com certeza os utiliza em seu cotidiano.*
- **A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade**
 - *Quando a SEI promove o estudo das características ondulatórias dos raios catódicos em conjunto com o estudo de um texto histórico, traz para a aula subsídios para debates acerca das relações entre o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia e suas consequências para a Sociedade. Durante as discussões, os estudantes estarão defronte de informações indiretas, mas que podem ser evidenciadas com o trabalho questionador do professor (estimulada pela SEI), sobre o desenvolvimento da sociedade francesa (origem de Louis de Broglie) e inglesa (origem de GP Thomson) em comparação com a sua própria sociedade. As discussões podem seguir no sentido de trazer à tona as diferenças entre essas sociedades, relacionando*

seus avanços com suas posturas frente ao desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia, com suas vantagens e desvantagens.

- **A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica**
 - *Durante o debate final o professor é estimulado, pela SEI, em trazer para a aula o uso dos termos científicos para subsidiar as justificativas, as previsões e as explicações que os estudantes fornecerão nas suas argumentações.*

E TAMBÉM PODEMOS VERIFICAR O FAVORECIMENTO DE INDICADORES DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA:

- **Seriação de informações**
 - *Com a leitura do texto, os estudantes, logo no seu início, terão possibilidade de seriar as informações acerca das ideias iniciais de GP Thomson sobre os raios catódicos, pois o texto da SEI foi montado de forma a evidenciar essas informações (que estão no texto original, porém em inglês).*
- **Organização de informações**
- **Classificação de informações**
 - *Os estudantes são convidados a organizarem as informações do texto e a classificarem essas informações segundo as orientações do professor, conforme sugestão da SEI. Com a estruturação dessas informações, poderão elencar as hipóteses que GP Thomson tinha na época, juntamente com seus paradigmas acerca da estrutura dos raios catódicos e da matéria.*
- **Levantamento de hipóteses**
 - *Ao verificarem as hipóteses de GP no texto, os próprios alunos levantarão as suas acerca das ideias desse cientista sobre a estrutura dos raios catódicos. Os debates promovidos ou pelo professor ou pela interação entre alunos, trazem a tona as hipóteses dos estudantes sobre as hipóteses de GP Thomson. E servirão de base, garantia, refutação e qualificador, nas suas argumentações durante os testes de hipóteses, auxiliando nas justificativas, nas previsões e nas explicações.*
- **Teste de hipóteses**
 - *Uma vez que os estudantes já tenham elencado as hipóteses de GP Thomson, discutirão as experiências que ele descreve em seu artigo*

(descritas nas entrevistas, presente no texto adaptado). A sequência favorece esse teste através da promoção da interação aluno-aluno, nos debates em grupo.

- **Justificativa**

- *Dentro de um padrão de argumentação de Toulmin, a construção das justificativas são favorecidas quando a SEI possibilita o levantamento de hipóteses baseada no texto histórico, na experiência que o estudante traz para a sala de aula e nos debates anteriores, promovidos pelos encontros anteriores.*

- **Previsão**

- *Ao promover e estimular uma participação ativa do estudante nas atividades da sequência, a SEI possibilita a construção de previsões acerca das experiências descritas por GP na entrevista (lembrando sempre que o texto em itálico é uma tradução do artigo original).*
- *E não somente isso, mas também previsões acerca da estrutura dos raios catódicos em si mesmos, e até da estrutura da matéria, em geral.*

- **Explicação**

- *Ao fornecer subsídios para o processo de argumentação, também a SEI favorece a estruturação de explicações sobre os conhecimentos construídos e adquiridos pelos estudantes. Ou seja, a sequência fornece subsídios para os estudantes terem, dentro de um padrão de argumentação de Toulmin, bases, garantias, refutações e possibilidade de qualificar suas conclusões.*

8.3 Bloco 3: E o elétron? É onda ou é partícula?

8.3.1 Encontro 7: Dentro de um microscópio eletrônico havia um dilema

Encontro 7: Dentro de um microscópio eletrônico havia um dilema

Objetivos:

- Desenvolver o gosto pelo questionamento e pela investigação;
- Conhecer uma técnica utilizada em laboratório de microscopia eletrônica para obtenção de dados;
- Desenvolver hipóteses e modelos para o elétron;
- Classificar o elétron segundo o conhecimento adquirido durante as atividades anteriores como onda, como partícula ou como outra forma;
- Desenvolver o interesse e a curiosidade do aluno sobre a Natureza do elétron;
- Desenvolver o senso de responsabilidade e de colaboração;
- Desenvolver o gosto pela Ciência em geral, e pela Física em particular.

Atividade: Qual é o comportamento dos elétrons quando passam por uma fenda ? Eles se comportam como partícula ou como onda?

Caro professor, apresente o vídeo das medições feitas por Tonomura e sua equipe, que pode ser acessado no site do youtube, cujo endereço é <http://www.youtube.com/watch?v=oWRI-LwyC4> (acesso em 11/04/2013). O problema que está colocado aqui está relacionado com a observação do comportamento do elétron quando passa por uma fenda dupla. O vídeo está editado pelos próprios autores, dentre eles Akira Tonomura, pois o vídeo original tem duração de mais de uma hora, mas o editado tem apenas pouco mais de um minuto. As imagens do vídeo mostram a interação ponto a ponto dos elétrons com o detector, dentro de um microscópio eletrônico.

Antes da apresentação do vídeo, mostre a figura de um microscópio eletrônico. Descreva como ele funciona e compare com os aparelhos de raios catódicos e difração de elétrons que foram vistos nos encontros anteriores. Se houver tempo e possibilidade, compare também com os aparelhos de televisão e com os aparelhos de raios X. Questione os alunos sobre suas expectativas acerca do que poderão ver no vídeo. Então, após essa discussão prévia, apresente o vídeo.

Esse vídeo que orientamos a ser passado como atividade tem duração de cerca de um minuto apenas. É o resultado de um experimento complexo e é o resumo de imagens de cerca de uma hora de coleta de dados no laboratório. Comente sobre essas informações, pois o vídeo foi feito como uma coleção de fotos tiradas em intervalos de tempo diferentes, mas para resumir o todo. Para os alunos, que veriam cerca de um ponto por segundo aparecendo, ficariam entediados se fossem forçados a assistir mais de três mil pontos sendo marcados em uma hora. Mesmo assim, não houve edição nas imagens, apenas cortes para que pudéssemos ver o evento sem ficarmos cansados.

Após a apresentação do vídeo, reúna os alunos em grupos, para que possam discutir entre eles os significados das imagens que viram. Lembre-os dos aspectos das partículas e das ondas que viram nas outras atividades. Neste momento é bom recordar que os raios catódicos são outro nome para os elétrons que são acelerados nesses tubos, em que há um filamento aquecido e com placas eletrizadas para a aceleração desses objetos.

Algumas sugestões de questões que podem ajudar a encaminhar os debates:

- Como vocês podem explicar as imagens que viram?
- Somente o modelo de partículas é suficiente para explicar o fenômeno que foi visto? Por quê?
- E o de ondas? Por quê?
- Por quê JJ Thomson e GP Thomson teriam, ou não, a possibilidade de verificar esse efeitos nos seus equipamentos?
- Então, como os modelos que já vimos para o elétron ajudam a resolver o problema?

- Os modelos que temos para o elétron ajudam de que forma a compreender as imagens formadas?
- Qual é o modelo que vocês montaram para o que foi visto no vídeo? Explique suas hipóteses. Desenhe e ilustre suas ideias.

Depois, no mesmo encontro, você pode entregar a entrevista com Tonomura sobre o experimento do elétron em uma fenda dupla, que ele fez com seus colegas. Porém, pela nossa experiência, a maioria das turmas lê o texto em casa e traz na aula seguinte, porém já trabalhamos com certa quantidade de turmas de alunos e sabemos que não é uma regra. Cada turma tem um perfil, e devemos trabalhar com elas da melhor forma possível. Por isso, se você sabe que é melhor ler o texto em sala de aula, fique tranquilo em fazê-lo.

Observações – Encontro 7

Neste encontro podemos evidenciar alguns aspectos importantes e alguns aspectos essenciais de uma SEI:

- ***Da importância de um problema para um início da construção do conhecimento***
 - *Para se iniciar a construção do conhecimento sobre a natureza do elétron a partir de um experimento de difração, e o problema apresentado foi sobre como o elétron comporta-se em um experimento de fenda dupla.*
- ***Da ação manipulativa para a ação intelectual***
 - *Apesar de não se ter um experimento que se possa manipular no sentido literal da palavra, os alunos estão em uma situação de ação com material concreto, mas também visual, e inicialmente não há ação intelectual sobre o que se viu. Porém, são as questões propostas pelo professor auxiliam essa transição.*
- ***A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento***
 - *Aqui os estudantes são orientados a questionar suas ideias sobre partículas e ondas para responderem o problema proposto, montando um modelo para o filme, e para o elétron. De forma que possam criar, organizar e classificar as informações sobre o elétron.*
 - *E dessa forma são estimulados a tomarem consciência dos seus atos anteriores (nas atividades experimentais, nas leituras e nos debates), para que os utilizem em discussões posteriores.*
 - *E quando isso ocorre, o padrão de argumentação de Toulmin é favorecido, pois com a tomada de consciência dos alunos, estes poderão obter mais dados, bases e garantias para formularem suas argumentações. Inserindo refutações e qualificando melhor seus argumentos acerca do comportamento que foi visto no filme.*
- ***As diferentes etapas das explicações científicas***
 - *Certamente, com as discussões feitas em sala, os alunos terão uma boa visão do processo de criação das explicações científicas, pois ao serem*

confrontados com um experimento que tem comportamento diverso do que foi visto nas atividades anteriores, poderão vivenciar o trabalho do cientista e da construção das suas explicações sobre a Natureza.

- *E assim podem levantar suas próprias hipóteses sobre o comportamento do elétron.*
- **A participação ativa do estudante**
 - *Novamente vemos que o estímulo ao aluno parte de uma tríade composta pela atividade diversificada, pelo questionamento do professor e pela atitude ativa do aluno, participando dos debates com os colegas e com o professor.*
 - *A atividade não foi montada para que os alunos apenas assistissem ao filme passivamente, mas sim com estímulo à interação aluno-aluno, em grupos e com a turma toda.*
- **A importância da interação aluno-aluno**
 - *Após as atividades experimentais propostas, as leituras de textos e os debates anteriores, a interação aluno-aluno é estimulada com os debates sobre o comportamento do elétron no experimento de Tonomura e sua equipe, visto no vídeo.*
 - *Sem a interação aluno-aluno neste ponto da sequência, a atividade fica comprometida. Discutir o comportamento do elétron neste caso é fundamental, pois é possível verificar no filme que o elétron não tem comportamento de partícula totalmente, nem de onda totalmente, então os alunos deverão discutir suas ideias entre si, ouvir outras opiniões e chegar a um modelo.*
- **O papel do professor como elaborador de questões**
 - *Para que os alunos possam estruturar as informações e levantar hipóteses, o professor deve agir como elaborador de questões, não se atendo somente às questões sugeridas. Como cada turma é diferente das outras, o professor deve adequar a linguagem e as questões, modificando as que já conhece previamente e criando novas. Isso ocorre, pois a partir desta atividade o estudante fica à frente de um problema quântico importante. Não é possível explicar corretamente o que observamos, e não é um problema de linguagem somente, antes sim, de um problema de não conhecimento da Natureza de forma completa.*

- **A criação de um ambiente encorajador**
 - *A atividade favorece o ambiente encorajador estimulando o professor a trabalhar um filme feito por cientistas, relacionado com o tema de Física Moderna, com consequências para a tecnologia.*
 - *Tanto o trabalho em grupos de discussão, quanto as questões propostas ajudam a criar um ambiente encorajador. E nesta atividade, será muito importante, pois as imagens do filme trazem um dilema grande e estimulador sobre a natureza do elétron*
- **O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula**
 - *A atividade favorece o uso dos conhecimentos que os alunos tenham sobre o elétrons, sobre as partículas e sobre as ondas, e mais, valoriza-os já que busca nesses conhecimentos subsídios para a formação de opinião acerca do comportamento do elétron no filme.*
- **O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno**
 - *A atividade representa a possibilidade de verificar como o elétron interage com a matéria, trazendo significado para as atividades anteriores, trazendo significado para a própria atividade, quando a relaciona com os conhecimentos que o aluno traz para a aula e quando relaciona o que foi visto com o que é trabalhado em Ciência hoje*
- **A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade; e**
- **A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica**
 - *Estes dois aspectos aparecem quando verificamos as interações entre professor e alunos e entre alunos, quando do estímulo aos debates e às discussões.*
 - *Quanto ao primeiro, o professor, como elaborador de questões, traz para a aula, por exemplo, as relações do uso do microscópio eletrônico e o desenvolvimento da Biologia e da Física e suas aplicações na melhoria da saúde da população. Ou ainda das consequências trazidas com o trabalho sobre a microscopia eletrônica e seu uso na holografia eletrônica e o consequente desenvolvimento do estudo das estruturas atômicas e moleculares. Assim podendo estruturar novos materiais para a criação e construção de novos microprocessadores, com aumento de memória dos pen drives.*

- *Quanto ao segundo, quando o aluno verifica que a sua linguagem não é suficiente para descrever o aspecto dual do elétron, e através dos colegas e/ou do professor, tem possibilidade de adquirir novo vocabulário, mais próximo da linguagem científica (não só conhecendo termos técnicos, mas compreendendo-os e utilizando-os).*

E também podemos verificar o favorecimento de Indicadores de Alfabetização Científica:

- **Seriação de informações; a**
- **Organização de informações; e**
- **Classificação de informações**
 - *A estruturação dos dados pode ser observada no favorecimento das discussões acerca do comportamento do elétron, estimuladas pelo professor e pelas discussões em grupo, nas interações aluno-aluno.*
 - *A seriação, a organização e a classificação são estimuladas no primeiro debate sobre o que os alunos viram.*
- **Levantamento de hipóteses**
 - *Após discutirem sobre o que viram no filme, em grupos são orientados a elaborar explicações utilizando os conceitos que trouxeram de fora da aula, da atividade. Então são estimulados a citar e justificar suas hipóteses.*
- **Teste de hipóteses; a**
- **Justificativa; a**
- **Previsão; e a**
- **Explicação**
- *No debate final com o professor, os grupos apresentam suas ideias, defendem suas hipóteses e apresentam suas justificativas oralmente ou por escrito. Quando passam da ação manipulativa das imagens e seguem para a ação intelectual, através dos debates, a argumentação favorece e é favorecida nessa passagem. E assim, de posse de novas hipóteses, são estimulados a rever suas previsões e a explicarem seus resultados.*

8.3.2 Encontro 8: E o elétron? É onda ou é partícula?

Encontro 8: E o elétron? É onda ou é partícula?

Objetivos

- Favorecer o questionamento, a investigação e a organização de informações pelos alunos;
- Desenvolver hipóteses e modelos para a natureza do elétron;
- Desenvolver o pensamento crítico acerca do comportamento do elétron;
- Compreender o empreendimento científico e como os cientistas trabalham;
- Estimular a curiosidade, o interesse, a responsabilidade e o gosto pela Ciência e pela Física.

Atividade: Quais eram as ideias centrais que Akira Tonomura defendeu no seu artigo?

Professor, neste encontro você fornecerá aos seus alunos mais uma entrevista. Desta vez com Akira Tonomura, que fez alguns experimentos com o elétron em um microscópio eletrônico com seus colegas. Novamente o artigo original, como fonte primária, foi utilizado como base para as respostas que Akira forneceu para a entrevistadora no texto fictício, adaptado.

Forme grupos e leia com os alunos na sala de aula, mesmo que tenha entregue antes para leitura em casa, por exemplo. Essa leitura é importante e destacamos que em média utilizam 15 a 20 minutos para uma leitura como essa, com essa quantidade de texto. Peça aos alunos que, durante a leitura, indiquem onde se encontra no texto as respostas para as seguintes perguntas:

- Quais as hipóteses de Tonomura e seus colegas para o elétron?
- Qual seu fundamento teórico?

- Quais os equipamentos disponíveis?
- Como foi a realização do experimento?
- Quais foram os dados coletados? Existem tabelas e figuras?
- Existiram dificuldades experimentais?
- Quais as suas conclusões?
- Quais as diferenças entre o trabalho do cientista e das nossas últimas atividades que você pode apontar no texto?

Após a leitura aproveite o momento para estimular discussão dessas mesmas perguntas nos grupos já formados. Ande entre os grupos e verifique o que estão afirmando e verifique se eles têm dúvidas. Depois, inicie uma discussão entre os grupos. Caso tenham grupos com ideias diferentes, aproveite para sugerir um debate entre eles. Pode ser que um grupo defenda a ideia de partículas e outro de ondas. Pode ser ainda que outro grupo, ou mesmo um aluno, possa apresentar uma hipótese diferente, juntando os dois aspectos que foram vistos nas atividades anteriores.

Para facilitar as discussões, coloque as informações requeridas para se encontrar no texto (hipóteses, fundamento teórico, equipamentos disponíveis, dificuldades, conclusões) e as que buscamos desenvolver nas atividades com os alunos em sala (estruturação das informações, levantamento de hipóteses, teste de hipóteses, conclusões).

Uma questão importante a ser feita para os alunos ao final da aula, como estímulo para a próxima aula é: E o elétron? É onda ou é partícula?. E cada aluno escreve suas ideias após o debate sobre a entrevista com a equipe de Tonomura para trazer na próxima aula.

Texto: Entrevista com Akira Tonomura

AS ONDAS DOS RAIOS CATÓDICOS SÃO PARTÍCULAS!?

Na nossa última entrevista com Físicos que estudaram o comportamento do elétron e suas características, temos agora Akira Tonomura, falando do seu artigo de 1989, reportando as experiências feitas com Endo, Matsuda, Kawazaki e Ezawa, todos de Tóquio, Japão.

Diferentemente de GP Thomson e de JJ Thomson que trabalharam praticamente sozinhos, para estes trabalhos que agora trazemos à público, o número de pesquisadores envolvidos já é maior. Porém a equipe de Tonomura trabalhou com experimentos e difração de elétrons de forma mais precisa, e cerca de sessenta anos após os trabalhos de GP Thomson e cerca de noventa anos das publicações de JJ Thomson.

Nesta entrevista, Tonomura nos conta sobre o trabalho feito sobre os elétrons e como eles produzem padrões de interferência. A experiência de interferência de elétrons em fenda dupla é frequentemente discutida em livros-texto de mecânica quântica, mas que é referida como 'impossível, absolutamente impossível de se explicar classicamente, mas é o coração da mecânica quântica', nas palavras de Richard Feynman, segundo o próprio Tonomura. Mesmo assim, Tonomura e sua equipe mostraram e filmaram essa experiência. Apesar de a ideia ser simples, o equipamento não é. Esse tipo de experimento já foi tratado anteriormente por Möllenstedt e Düker em 1954 (na Alemanha), por Merli, Missiroli e Pozzi em 1974 (na Itália) e por Lichte em 1986 (na Alemanha). O artigo de Tonomura e sua equipe é de 1988 (no Japão). E esses pesquisadores pertencem a países que atualmente tem suas tecnologias em eletrônica e informática bem desenvolvidas, com economias baseadas no desenvolvimento tecnológico e que, aliado a outros fatores sociais e políticos, favorecem o desenvolvimento econômico e social desses povos. E aqui reside o interesse dessas entrevistas para o nossos

leitores: dar nossa contribuição para o desenvolvimento do nosso país, favorecendo o interesse no estudo dessa partícula subatômica, que iniciou há muito tempo, e que ainda nos oferece muito a aprender.

Ao final desta sequência de entrevistas, Renilde Lopes, da editoria de Ciência da Folha de Aracaju traz ao nossos leitores informações recentes sobre o elétron. Mesmo sabendo que o atual já pode ter sido superado enquanto esta entrevista foi produzida, como o material trazido pela revista Pesquisa FAPESP de dezembro de 2012, mas que não pôde ser tratada até o final dessa edição. Mas fazemos um convite aos leitores buscarem mais informações sobre o elétron, pois o fim não está próximo.

Figura 12: Akira Tonomura

Renilde Lopes: Senhor Tonomura agradeço a gentileza de me receber aqui em Tóquio para esta entrevista. Penso que após tantos anos e vários pesquisadores tratando o elétron, a primeira pergunta deva ser: qual a diferença entre o trabalho do seu grupo e dos pesquisadores anteriores?

Akira Tonomura: Não há de que, Renilde. Acredito que nosso trabalho completa os predecessores. É a nossa contribuição para a compreensão do elétron. Os trabalhos dos alemães estão relacionados com as técnicas para a construção do biprisma eletrostático de

elétrons (por Möllenstedt e Düker) e com seu uso em técnicas para análise de objetos com dimensões atômicas (Lichte). Já os pesquisadores italianos (Merli, Missiroli e Pozzi) preocuparam-se com um trabalho didático, realmente para alunos, com um enfoque estatístico da visão do elétron.

RL: ...e o trabalho de vocês?

AT: Certamente o nosso trabalho traz uma visão necessariamente dual. No nosso trabalho *a dualidade onda-partícula dos elétrons foi realmente demonstrada num experimento de interferência do tipo fenda dupla, usando um microscópio eletrônico equipado com um biprisma e um sistema com sensor – contador de elétrons sensível à posição. Tal como um experimento sempre pensado como um puro experimento mental que nunca pudesse ser realizado.* Nós filmamos isso na época, e hoje pode ser visto na internet.

RL: Poderia nos esclarecer melhor o que é um biprisma de elétrons?

AT: É um equipamento desenvolvido por Möllenstedt e Düker por volta de 1954. Consiste em um filamento, um fiozinho de quartzo metalizado de um micrômetro (que é mil vezes menor que um milímetro) de diâmetro. Este fiozinho fica entre duas placas carregadas eletricamente. Assim, pensando o elétron como onda, a frente de onda dos elétrons passa pelo fiozinho, quebrando-se e produzindo outras ondas que se interferem após o filamento de quartzo metalizado.

RL: Mas, se a corrente elétrica é baixa, quantos elétrons passam por vez nesse aparelho?

AT: Começamos com mil elétrons por segundo. Porém, depois testamos com feixes de intensidade variável entre 5 mil e 200 elétrons por segundo, reduzindo os valores gradativamente. Então, com um equipamento de medição rápida, foi possível verificar os elétrons interagindo com o detetor um a um.

RL: Foi possível medir um elétron de cada vez?

AT: Isso mesmo.

RL: Então a experiência durou muito tempo?

- AT:** As franjas de interferência foram formadas em 20 minutos, um tempo razoável. Para que tivéssemos as franjas foram necessários cerca de 70mil, ou seja, uns 14 mil elétrons por franja.
- RL:** Como essa experiência é vista pela Física Quântica?
- AT:** *De acordo com a interpretação da mecânica quântica, um elétron único pode passar por ambas as fendas, “na forma de onda chamada “amplitude de probabilidade” quando há incerteza na posição do elétron na passagem pelas placas que delimitam as duas fendas”, e quando nenhuma observação do elétron é feita em nenhuma das fendas.*
- RL:** Então o elétron aparece dividido no dectetor?
- AT:** *O elétron é detectado como partícula em um ponto da tela do aparelho.*
- RL:** O elétron se comporta como partícula no detetor. E se ele é uma partícula, então não deveria passar por apenas uma fenda?
- AT:** *Se o elétron é percebido quando passa através das fendas, isso significa que ele passou por uma das duas fendas, nunca por ambas, e a distribuição de probabilidade na tela seria completamente diferente.*
- RL:** E as franjas de interferência seriam diferentes?
- AT:** *Elas não existiriam. Nos livros didáticos este experimento é descrito como questão de fato [“matter of fact”, ou seja, deve ser aceita assim mesmo]. O Feynman aponta que “este experimento nunca poderá ser feito dessa forma, pois o aparelho não pode medir coisas em pequena escala”.*
- RL:** Mesmo assim outros cientistas já conseguiram feitos semelhantes...
- AT:** *Isso mesmo. Já foi feito com neutrons antes. E no caso de elétrons, dois grupos, um da Universidade de Tübingen e outro da Universidade de Bolonha, demonstraram, na forma de um filme e usando uma câmera de TV muitíssimo sensível, que a observabilidade do padrão de interferência do elétron surge quando a frequência dos elétrons incidentes aumenta. Mas no nosso caso, a nossa intenção era somente tratar desse problema, da difração de elétrons pura e simplesmente.*
- RL:** E foi possível fechar o assunto então?

AT: Certamente. Nós realizamos um experimento de fenda dupla, montado como um experimento de pensamento puro que não tinha pretensão de ser executado com precisão, com uma combinação de técnicas de contagem e ampliação de imagens. O resultado foi uma construção paulatina de padrão de interferência exatamente como o predito pela mecânica quântica.

Figura 13: Destaque para o microscópio eletrônico ao fundo. Note que é um aparelho muito mais complexo que os de JJ Thomson e GP Thomson. Aqui também há uma homenagem a Akira Tonomura, que faleceu pouco antes da elaboração deste texto (descobrimos isso quando tentamos entrar em contato para fazer essa entrevista com o próprio pesquisador, explicando o seu uso didático). Um grande cientista (segundo a empresa em que trabalhava e seus colegas, que montaram um centro de pesquisas com seu nome). Foi um grande cientista, mas que sempre trabalhou em equipe.

Observações – Encontro 8

Neste encontro, podemos evidenciar alguns aspectos importantes e alguns aspectos essenciais de uma SEI:

- ***Da importância de um problema para um início da construção do conhecimento***
 - *O problema continua sendo o entendimento da natureza do elétron. Na entrevista, Tonomura não fornece ideias sobre o que ele pensa ser o elétron, mas simplesmente apresenta os dados que obteve com o experimento.*
- ***Da ação manipulativa para a ação intelectual***
 - *Os estudantes estão de posse de um texto e não de um experimento, mesmo assim, apesar de não manipularem equipamentos, ainda assim é necessário a manipulação das informações do texto. Estruturar as informações, seriá-las, organizá-las e classificá-las, para então, em conjunto com as discussões, em um processo argumentativo partir dessa ação manipulativa para uma ação intelectual, podendo elaborar hipóteses acerca da natureza do elétron.*
- ***A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento; e***
- ***As diferentes etapas das explicações científicas***
 - *Estes dois aspectos ficam relacionados quando, após a leitura e o debate em grupo, o professor discute com toda a turma o texto lido. Cada estudante tem sua participação favorecida nestas ações individuais e coletivas, de forma a poder formular e comunicar suas ideias e suas hipóteses. Vivenciando assim algumas das etapas das explicações científicas, de forma geral: observação de evento natural; levantamento de hipóteses; discussão entre os pares; publicação; por exemplo.*
- ***A participação ativa do estudante; a***
- ***Importância da interação aluno-aluno; e***
- ***O papel do professor como elaborador de questões***
 - *Estes três aspectos juntos estão relacionados com as discussões em grupo e coletivamente, através das discussões estimuladas pela atividade. Sem a participação ativa do estudante e da suas interações na sala de aula, não há*

processos de argumentação. E para que isso não ocorra de forma penosa, o professor é estimulado a exercer seu papel de elaborador de questões.

- **A criação de um ambiente encorajador; e**
- **O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula**
 - *Na discussão do texto, o professor é estimulado a encorajar a participação ativa do aluno, buscando valorizar o conhecimento que ele traz para a sala de aula.*
- **O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno**
 - *Buscar no texto as informações científicas favorece a compreensão do funcionamento da Ciência e do trabalho do cientista. A atividade foi desenvolvida de forma a promover um problema significativo para o estudante, e dessa forma trouxe a questão acerca do artigo sobre um experimento que demonstra duas características do elétron como parte de sua natureza, em contraponto com as características da matéria ordinária vistas em outras atividades.*
- **A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade**
 - *O desenvolvimento de tecnologia e de seu uso, como o microscópio eletrônico e seus usos e potencialidades para o estudo e a estruturação da matéria. O uso da técnica de uso dos elétrons como ondas para a aplicação da técnica de holografia eletrônica para estudar superfícies no nível atômico, aprimorando o conhecimento acerca dos materiais, principalmente processadores (e o que fornecerá material para os futuros pen drives).*
- **A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica**
 - *O conhecimento de novos termos durante as discussões favorece a passagem da linguagem que o aluno utiliza no seu dia a dia para uma linguagem científica. Assim, holografia, quântico, microscópio eletrônico farão parte das falas dos alunos, orientados pelas questões que o professor coloca para a turma.*

E também podemos verificar o favorecimento de Indicadores de Alfabetização Científica:

- **Seriação de informações**

- Os estudantes são convidados, em grupos, a procurarem no texto, na entrevista de A Tonomura, os aspectos presentes em uma pesquisa científica. Dessa forma, são estimulados a elencar essas informações. Como o professor deve passar em cada grupo verificando os passos, também é estimulada a colaboração entre alunos, com foco no objetivo da atividade.

- **Organização de informações**

- *Na atividade de leitura em grupo, juntamente com as orientações do professor que, como elaborador de questões, dirige a atividade, os estudantes são estimulados a organizar as informações.*

- **Classificação de informações**

- *A classificação se dá como parte da resposta do problema que foi dado, ou seja, verificar quais as diferenças entre o trabalho dos cientistas e os trabalhos feitos em sala de aula.*

- **Levantamento de hipóteses**

- *Quando levantam as suas hipóteses, os estudantes estão não só verificando as hipóteses que A Tonomura e seus colegas tinham na época acerca do comportamento do elétron, como também as suas próprias hipóteses acerca da relação do trabalho do cientista em comparação com o trabalho feito em sala de aula*

- **Teste de hipóteses**

- *Aqui também há a possibilidade de dupla visão. Uma visão acerca dos testes que o autor do artigo faz em seu laboratório, presentes no texto. E a outra visão, como a resposta para o problema em que, de posse dos testes de hipóteses verificados pelos alunos no texto, estes mesmos alunos verificam e testam suas hipóteses acerca da relação do trabalho do cientista e dos seus trabalhos nas últimas atividades.*

- **Justificativa**

- *É possível montar um quadro em que se pusesse as características principais para correlacionar os dados do texto de forma a relacioná-los com os dados do grupo acerca das suas últimas atividades em sala de aula. Assim podendo o professor e os alunos visualizarem as justificativas de cada grupo e poder discuti-las em conjunto, pontuando os aspectos relevantes.*

- **Previsão**

- *A previsão aparece da discussão acerca dos dados obtidos dos trabalhos dos testes de hipóteses e das justificativas. Como o trabalho em grupos favorece o desconhecimento das opiniões dos demais grupos, quando do debate geral, o professor e os próprios alunos poderão verificar se suas previsões foram corretas. Nesse ponto, o professor também favorecerá a verificação, ou não, das previsões, ou seja, se os alunos perceberão que este tipo de texto é padrão nos artigos acadêmicos, inclusive nos de divulgação científica.*

- **Explicação**

- *Os estudantes são estimulados a explicar seus procedimentos. Se o professor puder montar uma tabela na lousa para o debate geral, cada grupo poderá apresentar suas explicações. Ao direcionar a atividade, o professor também poderá verificar a posição individual de alguns alunos, principalmente os que não gostam muito de participar, favorecendo a participação ativa do aluno.*

8.3.3 Encontro 9: As interpretações da Física Quântica

Encontro 9: As interpretações da Física Quântica

Objetivos:

- Identificar as interpretações utilizadas pelos estudantes para classificar o elétron;
- Classificar as interpretações dos estudantes dentro das quatro interpretações propostas pela SEI;
- Estimular o levantamento de hipóteses acerca do comportamento dual do elétron;
- Estimular a elaboração de modelo próprio para a natureza do elétron;
- Desenvolver interesse sobre o trabalho do cientista e como ele trabalha;
- Estimular a curiosidade dos estudantes acerca das dificuldades da interpretação da Física Quântica para o comportamento do elétron;
- Estimular a colaboração e o consenso entre os alunos para elaboração de trabalhos em grupo e seus debates acerca do comportamento do elétron;
- Estimular a objetividade dos estudantes quando defrontados com diferentes interpretações acerca de um fenômeno comum da Natureza, que é a interação do elétron com a matéria.

Atividade: O Doutor Quântico e a experiência da fenda dupla!

Professor, nesta última atividade propomos inicialmente que um vídeo (excerto do filme “Quem somos nós?”, que também está presente no site youtube no endereço http://www.youtube.com/watch?v=gAKGCtOi_4o, acesso em 01/07/2013). Neste vídeo, de cerca de dez minutos, é possível observar uma revisão de conceitos vistos nas últimas atividades, com uma vantagem, o vídeo apresenta parte das ideias de Niels Bohr acerca do comportamento dual do elétron, que chamamos de complementaridade.

Após o vídeo, questione seus alunos sobre o que assistiram. Aproveite para recordar as atividades feitas nestes encontros e como eles observaram as partículas e as ondas. De como eles observaram o elétron nas experiências de JJ Thomson, de GP Thomson e de A Tonomura e relacionando essas informações com o vídeo que acabaram de ver. Após todas estas atividades, peça para os estudantes explicarem, através de uma redação individual curta (cerca de cinco linhas), o que é o elétron para eles, levando em consideração o que foi trabalhado nos outros encontros. Apesar de já ter pedido no último encontro, reforce que após o vídeo eles podem ter mudado de opinião, se não mudaram, aproveite os textos de quem os fez. Depois, o professor pede para que cada estudante encontre uma classificação possível para seu modelo de acordo com os modelos de interpretação já definidos.

Note que este encontro está previsto para uma aula, porém em algumas turmas os estudantes participam ativamente, e como as turmas tem mais de trinta alunos, será necessário fazer esse encontro em duas partes. Na primeira, é passado o vídeo, feitos os debates e as respostas dos alunos acerca da interpretação deles para a natureza do elétron. E, na segunda parte desse encontro (feita em outra aula), os alunos leem o texto sobre as interpretações, apresentam suas ideias e eles mesmos podem classificá-las em cada uma das mais aceitas.

Como sugestão, caro professor, indicamos possíveis afirmações dos estudantes acerca do elétron, dentro das interpretações que utilizamos na SEI.

- **Corpuscular:** o estudante afirma que sempre poderá identificar a posição do elétron em qualquer tempo, como acontecia com a bolinha de gude;
- **Ondulatório:** o estudante afirma que somente quando o elétron atinge um ponto da tela, é que será possível inferir sua posição, como acontecia com as ondas na forma, quando se tampava o caminho e mesmo assim se obtinha franjas de interferência;
- **Dualidade:** o estudante afirma que a medida de posição é totalmente verdadeira, e o elétron, apesar de ser uma onda, também é partícula (ou seja, como se tivesse uma partícula associada à onda); analisa o evento apenas como um efeito macroscópico, não considerando o estado microscópico do aparelho (os eventos microscópicos que ocorrem no

aparelho de medição não foram considerados, por exemplo);

- **Complementaridade:** o estudante afirma que cada experiência é única, ou seja, não tem sentido relacionar a experiência de JJ Thomson com a de GP Thomson. É possível que o estudante argumente que com a pequena energia de aceleração do elétron na experiência de JJ Thomson o elétron seja uma partícula e nas altas energias do experimento de GP Thomson torna-se onda (o que contradiz as atuais observações).

Para trabalhar este texto com seus alunos, também indicamos que separe a lousa em cinco partes, uma para cada interpretação e uma a mais para interpretações que não cabem nas outras sugestões, valorizando o conhecimento que o aluno traz para a sua aula.

Note ainda, professor, que podemos diferenciar fenômenos ondulatórios de corpusculares da seguinte forma: o fenômeno ondulatório se caracteriza pela medição de um padrão de interferência; e o fenômeno corpuscular pela possibilidade de inferir uma trajetória bem definida. Então, o aspecto pontual de toda detecção (considerada pela interpretação corpuscular como a maior evidência da natureza corpuscular dos objetos quânticos) que ocorre mesmo em fenômenos ondulatórios, é considerado o princípio fundamental da teoria quântica, e chamado por Bohr de “postulado quântico”. Há diversas variações desta abordagem, constituindo as chamadas interpretações ortodoxas.

Texto: As principais interpretações adotadas pelos cientistas

Propomos agora uma discussão sobre as ideias que os vocês têm acerca do elétron. De acordo com as respostas, as ideias poderão ser classificadas em ondulatória, corpuscular, dualista realista e da complementaridade.

Desde o surgimento das ideias da Física Quântica com Max Planck em 1900, discute-se em âmbito acadêmico se a matéria é formada por corpúsculos ou por

ondas. No tocante à Física Quântica fundamentada no século XX, podemos identificar quatro grupos de interpretações que abarcam todas as mais utilizadas por cientistas e filósofos. São elas: a interpretação ondulatória, a corpuscular, a dualista realista e a interpretação da complementaridade. Essas interpretações são discutidas de forma extensa e profunda por Osvaldo Pessoa Júnior em dois livros que escreveu em 2003 e 2006, compilando várias ideias acerca do problema da interpretação quântica da Natureza. Nos seus livros (e nos que ele indica) são encontradas outras interpretações, de menor impacto nos centros científicos, mas não incorretas.

A **interpretação ondulatória** considera que os objetos quânticos são ondas, segundo a idéia original de Erwin Schrödinger, porém há uma extrema dificuldade explicar os fenômenos observados sem a noção de colapso, ou contração. Assim, numa versão ingênua dessa interpretação a realidade que corresponderia à função de onda sofreria colapsos, contrações, toda vez que ela interagisse com aparelhos de medição.

Para a **interpretação corpuscular** as entidades microscópicas são partículas sem uma onda associada. Defendida por Alfred Landé, dentro da interpretação dos coletivos estatísticos. No nosso caso, essa interpretação pode trazer dificuldades na explicação dos padrões de interferência na difração de elétrons, mas é muito comum encontrarmos interpretações corpusculares na literatura.

A **interpretação dualista realista** pode ser encontrada no trabalho de Louis de Broglie, em sua teoria da “onda piloto”, e ampliada por David Bohm para incluir o aparelho de medição. Para essa interpretação, o objeto quântico se divide em duas partes: uma parte seria uma partícula com trajetória bem definida (em geral desconhecida), e a outra parte seria uma onda associada.

Finalmente, a **interpretação da complementaridade** de Niels Bohr reconhece a limitação de nossa capacidade em representar a realidade microscópica. Conforme o experimento, podemos usar ou uma descrição corpuscular, ou uma ondulatória, mas nunca ambas ao mesmo tempo. Para Bohr, o objeto quântico não é um corpúsculo ou é uma onda, somente podemos afirmar a

existência do que podemos observar. Ou seja, afirmar que um elétron não-observado pode sofrer um colapso. (um elétron que não observamos na experiência, mas que podemos inferir indiretamente que ele passou por algum outro caminho que não o que tinha um detector de elétrons) carece de sentido, nessa interpretação.

Observações – Encontro 9

Neste encontro, podemos evidenciar alguns aspectos importantes e alguns aspectos essenciais de uma SEI:

- ***Da importância de um problema para um início da construção do conhecimento***
 - *O problema dado é encontrar a interpretação que cada um dos estudantes tem acerca da natureza do elétron.*
- ***Da ação manipulativa para a ação intelectual***
 - *Apesar de não manipularem experimentos, devem manipular dados e seriar, organizar e classificar as informações acerca do comportamento das partículas e das ondas, comparando com o comportamento do elétron.*
- ***A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento***
 - *Apesar de terem feito as atividades em grupos, as interpretações são individuais, e portanto, neste momento, cada estudante é estimulado a se conscientizar acerca da importância das suas atitudes para seu desenvolvimento pessoal, para a construção do seu conhecimento.*
- ***As diferentes etapas das explicações científicas***
 - *Com essa atividade, os estudantes estarão defronte a mais uma etapa da explicação científica, participando, dando sua contribuição ao proporem suas interpretações.*
- ***A participação ativa do estudante***
 - *Essa participação é estimulada pelo professor(como elaborador de questões) e pela atividade, que requer dele participação no grupo, quando dos debates, e individualmente, quando da sua redação e da defesa, da justificação das suas ideias e suas interpretações.*
- ***A importância da interação aluno-aluno***
 - *Com o trabalho individual na defesa das interpretações, o aluno é levado a perceber a importância dos debates com o grupo, da interação dele com os outros alunos. Assim pode, nesse momento, ter uma opinião melhor formada*

não somente devido às interações como professor ou com as atividades propostas, mas principalmente das interações com seus colegas.

- **O papel do professor como elaborador de questões**

- *Nesta atividade é crucial esse papel, pois como existem várias interpretações e estamos colocando apenas quatro, o professor deverá conduzir os trabalhos, através de questões, na orientação dos estudantes para que possam classificar suas ideias entre as quatro interpretações. Não esquecendo de valorizar as opiniões diversas, por isso cinco colunas na lousa para as interpretações.*

- **A criação de um ambiente encorajador**

- **O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula**

- *O professor como elaborador de questões, o estudante que é valorizado com suas ideias acerca das atividades realizadas anteriormente e a atividade que pede a colaboração desses alunos em trazer suas ideias e suas interpretações favorecem a criação de um ambiente encorajador.*

- **O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno**

- *O problema proposto, verificação das interpretações dos estudantes com relação às interpretações dos cientistas, significa a validação das suas ideias não somente pelo professor ou pelos colegas, mas também pelo corpo científico.*

- **A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade**

- *Ao estimular o desenvolvimento de interpretações acerca do comportamento e da natureza do elétron pelos estudantes e a sua relação com o trabalho do cientista (vendo como um ser humano que não tem resposta para tudo o que observa na Natureza), a atividade promove a percepção da relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.*

- **A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica**

- *Quando os alunos preparam seus textos sobre a sua própria interpretação acerca da natureza do elétron, estão ainda de posse e do uso de uma linguagem cotidiana. Porém, estimulados pelo professor e pela atividade, reestruturam suas ideias e levantam hipóteses para poderem classificar suas interpretações com relação às quatro que a atividade propõe. Para justificar e*

explicar suas concepções, poderão fazer essa passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica.

E também podemos verificar o favorecimento de indicadores de alfabetização científica:

- **Seriação de informações**

- *Nesta atividade final, os estudantes serão levados a seriar todas as informações a que tiveram acesso em todas as atividades anteriores, desde partículas até o vídeo do “Doutor Quântico”.*

- **Organização de informações**

- *Para realizar a atividade, os estudantes são estimulados a organizar todas as informações que obtiveram em todas as atividades anteriores e compará-las com suas ideias e com as interpretações dadas pelo texto.*

- **Classificação de informações**

- *Ao terem que estruturar suas informações com relação às quatro interpretações, os estudantes precisarão classificar suas interpretações de acordo com o que foi visto no texto. Também terão possibilidade de classificar sua própria interpretação fora dos padrões das outras, caso queiram, desde que tenha boa justificativa e explicação para isso.*

- **Levantamento de hipóteses; e**

- **Teste de hipóteses**

- *Para que os alunos possam classificar suas interpretações em qualquer uma das quatro mais conhecidas, precisarão levantar hipóteses acerca das suas próprias interpretações, para logo após testar suas hipóteses quando confrontá-las com as hipóteses quânticas, representadas pelas interpretações.*

- **Justificativa**

- *As justificativas serão necessárias para a classificação das suas hipóteses. E o uso da estruturação das informações para a base de suas afirmações, tendo como garantias as atividades anteriores, poderão justificar suas proposições dentro de um padrão de argumentação de Toulmin.*

- **Previsão**

- *A previsão estará favorecida pelas colocações que os alunos fizerem sobre as suas proposições e suas interpretações, e como elas podem prever os resultados que observaram nas atividades experimentais.*

- **Explicação**

- *Neste ponto, o padrão de Toulmin deve ser favorecido completamente, dentro das nossas expectativas. Quando, de posse das informações trazidas por todas as atividades experimentais anteriores e dos materiais de leitura e de vídeo, os alunos terão então bases e garantias para suas afirmações. Os estudantes terão argumentos para refutações com os colegas, nas interações aluno-aluno e entre professor e aluno. E terão material para qualificar sua afirmação, uma vez que é uma interpretação, poderão demonstrar o quanto confiam na interpretação, podendo informar que essa interpretação é pessoal e que aceita apenas para o evento estudado, por exemplo.*

9. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

A nosso ver, o debate da dualidade onda-partícula tem origem nos debates entre Newton e Huygens sobre a natureza da luz, e é frequentemente tratado nas aulas de Óptica do Ensino Médio. Apesar de o assunto ser atual ainda, com publicações acerca da dualidade da luz, indicando atividades que utilizam aparelhos de difração de Mach-Zehnder, isso era desconfortável em nossa visão. Era como se estivesse tratando como novo, algo muito antigo. Nós mesmos aplicamos atividades com esse caráter em sala de aula, o que nos deixou claro nosso sentimento de que os efeitos de dualidade encontrados na luz não atingiam os objetivos que desejávamos. E dessa forma buscamos encontrar no elétron o mesmo aspecto, de dualidade, e que também fosse possível trabalhar em sala de aula com atividades que demonstrassem que a matéria (representada aqui pelo elétron) também tivesse o caráter dual.

Assim, ao iniciar este trabalho, esperávamos elaborar e implementar uma sequência de ensino que promovesse o estudo e o debate sobre a dualidade onda-partícula do elétron. Porém, elaborar uma sequência de ensino sem um crivo ou uma orientação, apenas para testá-la em sala de aula e analisar as interações entre alunos e entre alunos e professor, poderia gerar um trabalho muito intuitivo. O trabalho teórico foi se destacando sobre o trabalho empírico à medida que fomos nos deparando com as dificuldades inerentes ao processo de elaboração de uma SEI, bem como com a existência parca de materiais de ensino sobre o tema da dualidade do elétron. E foram essas dificuldades que nortearam a formação da nossa questão de pesquisa. Assim, em nossa opinião, ficou evidente que precisaríamos primeiramente elencar quais seriam os elementos necessários em uma sequência de ensino investigativo para que ela pudesse favorecer a argumentação e a alfabetização científica.

Durante os trabalhos, tivemos que elaborar atividades experimentais para favorecer nossa sequência. Mas isso não era tudo. Uma atividade experimental por si só não é investigativa. Necessita de definições melhores quanto aos seus objetivos, a sua organização, aos debates antes, durante e após a realização do

experimento. Tivemos então que criar atividades investigativas, com o uso de jogos como o futebol de dedos e o futebol de ondas (este criado especificamente para esta sequência).

Enquanto o “futebol de dedos” é apenas um jogo bem divertido, quando o inserimos em um contexto investigativo, é necessário trabalhar os objetivos com relação às habilidades manipulativas e de comunicação; com relação aos conceitos; com relação às habilidades cognitivas; com relação à compreensão da natureza da ciência e com relação às atitudes dos estudantes. O mesmo se aplicando ao “futebol de ondas”, porém não sendo tão divertido como o “futebol de dedos”.

As atividades com o uso do aparelho de raios catódicos também foram bem debatidas e testadas. A maior crítica foi que inicialmente, para um observador iniciante, o aparelho possa aparentar uma —máquina de fazer borrõesll, uma vez que quando ligada, o ecrã produz luz com boa intensidade (para uma sala escura) quando estimulado pelos elétrons, que colidem com a parede do aparelho revestida com sulfeto de zinco. E apesar se ser possível encontrar simuladores na internet (por exemplo, http://www.fisicanimada.net.br/?q=fisica_moderna/davisson-germer, acesso em 05/08/2013), indicamos fortemente que o professor busque contato e faça parceria com institutos de ensino superior, para visitar os laboratórios e trabalhar com essas máquinas. Não indicamos comprar um aparelho de difração, pois seu custo é de cerca de um bom computador pessoal, que teria muito mais utilidade para uma escola.

Ao longo deste processo, um importante de nosso trabalho foi ganhando mais destaque e tornando-se central: o uso de fontes primárias para elaboração de material da sequência de ensino. Nosso objetivo foi obter subsídios históricos e utilizá-los na promoção de atividades investigativas teóricas, uma vez que na forma empírica já teríamos as atividades experimentais de demonstração investigativa e laboratório aberto. Os artigos originais de JJ Thomson (1897), de GP Thomson (1923) e de A Tonomura *et.al.* (1989) forneceram material para a elaboração das entrevistas fictícias. Outra intenção do uso destes textos foi proporcionar aos alunos e professores a leitura de artigos originais da história da ciência; mas, para tanto, era necessário cuidarmos da tradução para a Língua Portuguesa. Não apenas na

tradução literal do texto, mas também considerando os aspectos técnicos de textos como estes. E neste caso, apesar de nossas leituras, releituras e análise do material que produzimos, somente professores e alunos utilizando a SEI em suas aulas poderão nos ajudar a compreender a validade total, ou não, da nossa ideia.

O uso de recursos de vídeo foi feito de forma que mais essa atividade fosse investigativa também. Não representa apenas a passagem de um filme curto ou longo, mas também de discutí-lo com os alunos. Dessa forma, o papel do professor também é de grande destaque, e neste caso específico, direcionar as discussões sobre o que se viu no vídeo, como os alunos veem esse filme, se identificam os símbolos e seus valores em cada cena. Essa identificação e essa valoração são possíveis através da interação professor-aluno e aluno-aluno, uma vez que sempre é possível interpretações equivocadas.

O primeiro vídeo da sequência de ensino mostra a interação dos elétrons com o detector de forma paulatina, sequencial, porém com o uso de recursos de ampliação e de edição (feitos pelos autores da pesquisa, Tonomura *et. al.*). Mas sem a intervenção do professor, esse vídeo apenas ficaria um aglomerado de pontinhos brilhantes em uma tela, que aumenta seu número rapidamente.

E o segundo vídeo, por ser um excerto de um filme deve ser observado com cautela. Primeiramente, o filme original é no mínimo controverso, pois não há consenso entre os cientistas sobre os assuntos tratados nele. Porém, o excerto que foi indicado é uma boa animação computadorizada e que, a menos de um detalhe didático (a figura do personagem principal manter-se inteiro mesmo em dimensões muito reduzidas), serve muito bem ao nosso propósito.

E ao final deste trabalho teórico temos em conta que atingimos nossos objetivos, tanto como pesquisador (aprendendo muito, mas não necessariamente tudo, que um pesquisador precisa para iniciar seus trabalhos) quanto à resposta de nossa questão de pesquisa (que detalharemos mais adiante). Buscamos compreender os processos que podem favorecer a Alfabetização Científica (AC) e quais habilidades podemos esperar de um indivíduo alfabetizado cientificamente.

Como a AC é vista em outros países e como pensamos nela em nossa própria sala de aula.

Buscamos ainda, formas de favorecer o desenvolvimento da AC em sala de aula, fornecendo um material bem elaborado para o tema **dualidade onda-partícula** para uso de professores da rede pública de ensino. Nessa busca encontramos os processos de Argumentação dentro das interações na sala de aula entre alunos e entre alunos e professor.

Dessa forma, lançamos mão das ferramentas de análise com os Eixos Estruturantes e os Indicadores de AC de Sasseron (2008) e Sasseron e Carvalho (2008) e com os Aspectos Fundamentais e Aspectos Importantes de uma Sequência de Ensino Investigativo. Com isso, cada parte da SEI pôde ser analisada logo após sua apresentação no nosso trabalho sob a luz desses eixos, indicadores e aspectos.

A SEI “E o elétron? É onda ou é partícula?” pôde promover em cada atividade de cada um dos três blocos possibilidades de promoção de vários aspectos da SEI e de vários indicadores de AC. Certamente não esperávamos que todos os aspectos fossem promovidos em cada uma das atividades, porém encontramos todos os aspectos de uma SEI e todos os indicadores de AC na sequência proposta. Assim podemos agora verificar o quanto pudemos realmente responder à questão:

Quais os elementos presentes em uma Sequência de Ensino Investigativo que propomos podem proporcionar a Argumentação e a Alfabetização Científica entre os alunos do Ensino Médio?

Em cada grupo de análise feita no capítulo oito, podemos verificar os elementos presentes na SEI proposta que podem proporcionar a Argumentação e a Alfabetização Científica. Em cada atividade, seja de laboratório aberto (como o futebol de dedos ou o de ondas), seja na demonstração investigativa (com o aparelho de raios catódicos para JJ Thomson e para GP Thomson e com o vídeo de A Tonomura *et. al.*), ou seja até com os textos adaptados (como as entrevistas com JJ Thomson, GP Thomson e A Tonomura), pudemos encontrar sempre os aspectos

imprescindíveis e os aspectos importantes de uma SEI, e também os indicadores de AC.

Dessa forma, finalmente encontramos subsídios para afirmar que os Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica estão presentes na SEI e que são **esses os elementos presentes na SEI que podem proporcionar a Argumentação e a Alfabetização Científica**. Esses subsídios foram destacados nas análises feitas no capítulo oito como *os aspectos fundamentais e importantes para se elaborar uma SEI, presentes em todas as atividades e os indicadores de AC, todos presentes nas atividades da SEI*. Vejamos como esses elementos estão relacionados com as atividades e com as análises.

Quando a proposta é iniciada com atividades simples, como um futebol de dedos, para que os estudantes fiquem familiarizados com os termos utilizados para se caracterizar partículas, desenvolvendo a atividade de forma ao final dela poder conceituar o que é partícula, podemos favorecer a estruturação das informações, principalmente das que queremos destacar (posição e trajetória). O mesmo ocorrendo com as ondas, com o futebol de ondas, para as ideias de difração e de interferência de ondas. Aqui, nas atividades iniciais de cada bloco já é possível identificar o favorecimento do primeiro eixo, **compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais**. Mas não é somente nas atividades iniciais que encontraremos esse eixo. Como base de todo início de cada uma das nove atividades, às vezes de forma mais aprofundada e às vezes de forma mais sutil, há o favorecimento desse eixo, como nas entrevistas (montadas dessa forma para que os termos, os conhecimentos e os conceitos envolvidos em cada artigo científico original fosse destacado para a melhor compreensão do leitor, nosso estudante).

O debate sugerido nas questões propostas para o professor ao final de cada atividade favorece o primeiro eixo estruturante, mas também, e principalmente, o segundo eixo estruturante da AC. As questões que a SEI propõe como sugestão para o professor debater com seus alunos promovem a compreensão da natureza da Ciência como um corpo de conhecimento estritamente humano, que varia conforme a economia, a política e inclusive a ética humana e profissional dos

pesquisadores envolvidos. Quando a SEI favorece o trabalho do estudante colocando juntas atividades teóricas e empíricas, favorece a vivência da natureza da Ciência pelo estudante, favorecendo o segundo eixo: **compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática.**

Ao chegar no último bloco, iniciam-se os debates acerca do problema ético, político e filosófico do desenvolvimento e do estudo da natureza do elétron, com discussões acerca das tecnologias surgidas com esse desenvolvimento, o que nos remete ao terceiro eixo: **o entendimento das relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.** Por fazer parte de um aspecto importante de uma SEI, essas relações são favorecidas em cada atividade, como é possível verificar nas análises feitas. Com destaque para as atividades do último bloco, em que mais se percebe essa relação com o desenvolvimento da ideia da natureza do elétron.

Adicionalmente, como parte dos pressupostos de nosso trabalho, utilizamos os **aspectos fundamentais e dos aspectos importantes para a elaboração de uma SEI** propostos por Carvalho (2011). Procuramos encontrá-los em todas as atividades propostas: em cada atividade foi possível verificar a existência de alguns dos aspectos fundamentais e de alguns dos aspectos importantes de uma SEI. Devemos ainda destacar que na sequência de ensino proposta em sua totalidade apareceram todos esses aspectos apontados por Carvalho (*op. cit.*), por vezes mais frequentes em alguns encontros que em outros, e por vezes mais evidentes em alguns encontros do que em outros. Assim **é possível concluir que a nossa sequência de ensino tem todas as características necessárias para ser considerada uma Sequência de Ensino Investigativo, e portanto, com possibilidades de promover argumentação e alfabetização científica.**

Quanto ao favorecimento de argumentação, a análise é mais sutil. Isso ocorre porque é necessária a participação ativa do professor, e não somente como elaborador de questões, como aparece nos aspectos da SEI. O papel do professor é fundamental na mediação das interações dos alunos com os outros alunos e com o próprio professor. Os estudantes podem até discutir os temas propostos, mas dificilmente chegarão a conclusões estruturalmente bem coesas, com boas

garantias, com refutadores razoáveis sem a intervenção do professor. Não queremos aqui discutir se o padrão de argumentação de Toulmin aparecerá ou não com a simples presença do professor em sala de aula, mas antes, que os alunos poderão utilizar melhor esse padrão de argumentação se o professor puder fazer um bom trabalho, incitando os debates e promovendo discussões, direcionando as trocas de ideias e informações no sentido da aplicação da sequência de ensino.

As atividades que podem ser encontradas em uma sequência de ensino investigativo são a demonstração investigativa, o laboratório aberto e o uso de textos históricos. E, segundo a análise feita, essas atividades foram contempladas na sequência de ensino. Porém, essas atividades feitas sozinhas em sala de aula não promovem a argumentação, sendo necessária a atuação de um mediador. Vendo por esse prisma, o favorecimento da argumentação, apesar de estar presente em cada atividade, através das indicações de perguntas e questões fornecidas pela sequência de ensino, depende fortemente da atuação do professor. Assim podemos concluir que ***uma Sequência de Ensino Investigativo pode favorecer a argumentação através das atividades propostas (demonstrações investigativas, laboratório aberto e uso de textos históricos), porém o processo de Argumentação apenas poderá ser vislumbrado caso o professor, de fato, atue na promoção das situações investigativas e argumentativas.***

Com relação à última parte dos nossos pressupostos, os indicadores de Alfabetização Científica, também pudemos sinalizar que eles podem ser desenvolvidos em todas as atividades da SEI. Assim como ocorreu com os aspectos fundamentais e importantes para se elaborar uma SEI, todos os Indicadores de Alfabetização Científica apareceram na análise da sequência. Certos indicadores apareceram em todos os encontros, outros em poucos encontros. Alguns indicadores tiveram maior destaque em alguns encontros, sendo mais importantes naquela atividade específica, naquele encontro específico. Porém, de uma forma geral todos os indicadores foram favorecidos na sequência de ensino proposta, e sendo assim ***a Sequência de Ensino Investigativo pode proporcionar, através do favorecimento dos Indicadores de AC, a Alfabetização Científica entre os alunos do Ensino Médio.***

Nossa análise nos permite verificar que a nossa sequência de ensino é uma Sequência de Ensino Investigativo, porque contempla todos os aspectos fundamentais e importantes de uma SEI. Que essa mesma sequência de ensino conta com elementos que favorecem os processos de Argumentação, mesmo com boa dependência do papel do professor nesse processo como vimos anteriormente. E que essa sequência de ensino ainda conta com o favorecimento e com a promoção dos indicadores de AC. Sendo assim, todos os três Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica foram promovidos em maior ou menor grau de intensidade. Dessa forma então, de posse de todas essas informações anteriores, podemos afirmar que ***essa sequência pode de proporcionar a Argumentação e a Alfabetização Científica entre alunos do Ensino Médio.***

Ao final deste trabalho lemos um artigo do periódico Pesquisa FAPESP de dezembro de 2012 acerca das dimensões quânticas não serem tão reduzidas como imaginamos ou conhecemos. Porém ampliar a pesquisa nessa altura do trabalho estaria fora de cogitação. Mas indicamos também, para trabalhos futuros, uma ampliação do uso do elétron para elementos maiores, como o fureleno (C₆₀ - esfera molecular com 60 átomos de carbono), que em experimentos, apresentou comportamento semelhante ao do elétron no experimento de Tonomura (TONOMURA *et.al.* 1989).

Como perspectivas futuras ainda, indicamos o teste real deste trabalho teórico, ou seja, aplicá-lo em sala de aula. Aparar as arestas. Verificar se a nossa teoria pode apresentar resultados satisfatórios na análise da aplicação dessa SEI em situação real, em escola real. Esperamos que este trabalho não fique engavetado, pois nunca foi nosso desejo apresentar um trabalho que não traga subsídios para aplicação e apoio ao professor atuante.

REFERÊNCIAS

- Afonso, Amanda Mendes; Sasseron, Lúcia Helena; Carvalho, Anna Maria Pessoa de. **Proposta para um novo trabalho de Ensino de Ciências e suas contribuições no processo de alfabetização científica**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física - SNEF 2009 - Vitória, ES
- Barrelo Júnior, Nelson. **Argumentação no discurso oral e escrito de alunos do ensino médio em uma sequência didática de Física Moderna**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- Brasil. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- _____. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio** - Brasília: MEC; SEMTEC, 2002
- _____. **Guia de livros didáticos: PNLD 2012 : Física**. – Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2011.
- Brockington, J. G. **A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Física e Faculdade de Educação - Universidade de São Paulo - São Paulo, 2005.
- Cachapuz, A.; Gil-Pérez, D.; Carvalho, A. M. P.; Praia, J. Vilches, A. (organizadores). **A necessária renovação do ensino das ciências**.- São Paulo: Cortez, 2005
- Carvalho , Anna Maria Pessoa de. **Habilidades de professores para promover a enculturação científica**. Revista Contexto & Educação, 77, Jan/Jun 2007, 25-49
- _____. **Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI)**; In: LONGHINI, Marcos Daniel (org.) *O Uno e o Diverso na Educação*. Uberlândia/MG: EDUFU, 2011

- Carvalho, A.M.P. (coordenadora) et al. **Termodinâmica: um ensino por investigação.**- São Paulo: FEUSP, 1999
- Cavalcante, M. A.; Tavoraro, C.R.C. **Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio**, Cad.Cat.Ens.Fís., v. 18, n. 3: p. 298-316, dez. 2001.
- Crestana, Silvério; Castro, Miriam G.; Pereira, Gilson R. M. (organizadores). **Centros e museus de Ciências: visões e experiências: subsídios para um programa nacional de popularização da ciência.** - São Paulo: Saraiva: Estação Ciência, 1998
- Eco, U. **Seis passeios pelos bosques da ficção.** Trad. H. Feist.- São Paulo: Companhia das Letras, 1994
- Eisberg, Robert; Resnick, Robert. **Física Quântica – Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas.** Trad. Paulo C. Ribeiro, Enio F. Silveira, Marta F. Barroso. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.
- Engle, Randi A.; Conant, Faith R. **Guiding principles for fostering productive disciplinary engagement: explaining an emergent argument in a community of learners classroom.** Cognition and Instruction, 20(4), 399-483.
- Ferris, Timothy. **O despertar na Via Láctea: uma história da astronomia.** Trad. de Waltensir Dutra. Rio de Janeiro: Campus, 1990
- Fiedler-Ferrara, N.. **Quando o todo é mais sagaz que a soma de suas partes.** Scientiae Studia, v. 3, n. 2, p. 323-337, 2005
- Gaspar, Alberto; **Experiências de Ciências para o 1º grau**, São Paulo: Ática, 1998.
- Saad, Fuad Daher; Reis, Denise Gomes; Yamamura, Paulo, **Explorando o mundo das ciências através de experimentos simples**, São Paulo: IFUSP, 1995.
- Saad, Fuad Daher. **Laboratório de Física Básica** - Laboratório Circulante. São Paulo: IFUSP, 1987.
- Gamow, George. **Biografia da Física.** Trad. De Giasone Rebuá. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1963.
- Gil-Pérez, Daniel; Carvalho, Anna Maria Pessoa de. **Formação de professores de Ciências: tendências e inovações.** Trad. de Sandra Valenzuela. São Paulo: Cortez, 1993

- Giordan, M. **Computadores e linguagens nas aulas de Ciências: uma perspectiva sócio cultural para compreender a construção de significados**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2008.
- Grecca, Ileana Maria. Moreira, Marco Antonio. **Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória**. Investigações em Ensino de Ciências – V6(1), pp. 29-56, 2001
- GREF. **Física 1 – Mecânica**. São Paulo: EDUSP, 1999.
- _____. **Física 2 – Física Térmica/ Óptica**. São Paulo: EDUSP, 1996.
- _____. **Física 3 – Eletromagnetismo**. São Paulo: EDUSP, 1995.
- Heisenberg, W. **The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics**, In Wheeler, J. A. and Zurek, W. H. (orgs.) **Quantum Theory and Measurement**, New Jersey: Princeton University Press, 1983
- _____. **Física e Filosofia**. Trad. de Jorge Leal Ferreira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.
- Jiménez-Aleixandre, M.P., Bugallo-Rodríguez, A. Duschl, R.A. **‘Doing the lesson’ or ‘Doing Science’: Argument in High School genetics**. Science Education, **84**: 757-792, 2000
- Jiménez-Aleixandre, M.P., Díaz-Bustamante, J. **Discurso de aula y argumentación em la clase de ciências: cuestiones teóricas y metodológicas**. Enseñanza de las Ciencias, 21 (3), 359-370, 2003
- Jiménez-Aleixandre, Maria Pilar; Puig, Blanca. **Argumentación y evaluación de explicaciones causales em ciências: el caso de la inteligência**. Alambique - Didáctica de las Ciências Experimentales. n. 63. PP. 11-18. enero 2010
- Kuhn, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Trad. de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 2003
- Lawson, A. E. **The nature and development of hypothetical-predictive argumentation with implications for science teaching**. International Journal of Science Education. November, 2003. vol. 25, nº 11, 1387-1408
- _____. **What does Galileo’s Discovery of Jupiter’s Moons tell us about the process of scientific Discovery?**. Science & Education **11**: 1-24, 2002
- Lemke, J. L. **Aprender a Hablar Ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores**. Espanha, Editora Paidós, 1997

- Ostermann, Fernanda. Pereira, Alexsandro P. **Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente.** Investigações em Ensino de Ciências – V14 (3), pp. 393-420, 2009
- Ostermann, Fernanda. Moreira, Marco Antonio. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”.** Investigações em Ensino de Ciências – V5(1), pp. 23-48, 2000
- Pessoa Jr, Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica- V1-** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003
- _____. **Conceitos de Física Quântica- V2-** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006
- Pintó, R. **Introducing curriculum innovations in Science: Identifying teachers’ transformations and the design of related Teacher Education.** Science Education, **89**: 1-12, 2005.
- Roberts, D. A. **Scientific Literacy / Science Literacy.** In: Abell, S. K.; Lederman, N. G. (editors) Handbook of research on science education. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers, 2007
- Saad, Fuad Daher; Reis, Denise Gomes; Yamamura, Paulo, **Explorando o mundo das ciências através de experimentos simples,** São Paulo: IFUSP, 1995.
- Sasseron, Lúcia Helena. **Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula.** Tese de Doutorado (FEUSP). São Paulo: s.n., 2008.
- Sasseron, Lúcia Helena; Carvalho, Anna Maria Pessoa de. **Almejando a alfabetização científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo,** Investigações em Ensino de Ciências - V13 (3), PP. 333 - 352, 2008
- _____. **Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de Alfabetização Científica e o padrão de Toulmin.** Ciência e Educação (UNESP), v. 17, p. 97 – 114, 2011
- São Paulo, Colbert. **Uma perspectiva sócio-histórica do conteúdo de Física Moderna nos livros didáticos para o Ensino Médio no Brasil - 1950 - 2000. Dissertação de Mestrado.** Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências - Universidade Estadual de Feira de Santana - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.

- Simon, S.; Erduran, S.; Osborne, J. **Learning to teach argumentation: research and development in the science classroom**. Science Education, vol. 28, nº 2, pp 235-260, 2006
- Schenberg, Mário. **Pensando a Física**. São Paulo: Nova Stella Editorial, 1990.
- Segrè, Emilio. **Dos Raios X aos Quarks**. Trad. De Wamberto H. Ferreira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1987
- Silva, C. C. (org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. - São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006
- Siqueira, M.R.P. **Do visível ao indivisível: uma proposta de física de partículas elementares para o ensino de física**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Física e Faculdade de Educação - Universidade de São Paulo - São Paulo, 2006.
- Soares, M. **Alfabetização e letramento**. - 6ª Ed.- São Paulo: Contexto, 2010.
- Solbes, J; Calatayud, M; Climent, J; Navarro, J. **Errores conceptuales em los modelos atômicos cuanticos**. Enseñanza de las ciencias, 1987, 5 (3), 189-195
- Souza-Lopes, E. **Experiências em Física Moderna - utilizando as idéias de A. Einstein nos artigos de 1905 para ilustrar conceitos para alunos do Ensino Médio em experimentos de baixo custo**. Monografia do curso Tópicos de História de Física Moderna no IFUSP - São Paulo, novembro de 2004.
- Stoney, G.J. **On The Physical Units of Nature**. Phil.Mag. 11, 381-391, 1881
- Stoney, G. J. **Of the ‘electron’, or atom of eletricity**. Philosophical Magazine Series 5, 1941-5990, Volume 38, Issue 233, Pages 418-420, 1894
- Terrazan, Eduardo Adolfo. **A inserção da Física Moderna e contemporânea no Ensino de Física na escola de 2º grau**. Caderno Catarinense de Ensino de Física. V.9, n.3: p. 209-214, dezembro de 1992
- Thomson, G.P. **Experiments on the Diffraction of Cathode Rays**, Physical Review, V. 22, p. 243, (1923)
- Thomson, J.J. **Cathode Rays**, Philosophical Magazine, V. 44, Series 5, p. 293, (1897)
- Tonomura, A. , Endo, J. Matsuda, T. Kawasaki, T., Ezawa, H. **Demonstration of single-electron buildup of na interference pattern**. American Journal of Physics, **57** (2), February, 1989

- Toulmin, Stephen Edelston. **Os usos do argumento**. Trad. Reinaldo Guarany – 2ª ed. – São Paulo: Martins Fontes, 2006.
- Tipler, Paul A.; Llewellyn, Ralph A.. **Física Moderna**. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- Viennot, L., Chauvet, F., Colin, P., Rebmann, G. **Designing strategies and tools for Teacher Training: the role of Critical Details, exemples in Optics**. Wiley Periodicals, **89**: 13-27, 2005
- Vigotski, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. - Trad. José C. Neto, Luís S. M. Barreto, Solange C. Afeche. - 7ª Ed. - São Paulo: Martins Fontes, 2007
- Vygotsky, L. S. **Pensamento e linguagem**. - Trad. M. Resende. - Lisboa: Editora Antídoto, 1979
- Wertsch, J. V. **La Mente em Acción**, Buenos Aires: Oxford University Press, 1999
- Wheeler, John Archibald; Zurek, Wojciech Hubert. **Quantum theory and Measurement**. New Jersey: Princeton University Press, 1983

ANEXO - O TUBO DE RAIOS CATÓDICOS

Da apostila do Curso de Física Moderna do IFUSP

Difração de elétrons

A relação de de Broglie

A relação entre o comprimento de onda da radiação eletromagnética e o momento linear p do fóton correspondente é dada por:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

onde h é a constante de Planck. Em 1924, Louis de Broglie apresentou uma tese propondo a existência de ondas de matéria, estendendo a aplicabilidade da equação (1) para qualquer tipo de partícula. Nesta experiência, a relação de de Broglie (1) será testada por meio da difração de elétrons por cristais.

$$E = \frac{p^2}{2m}$$

O comprimento de onda associado a elétrons não relativísticos de energia pode ser obtido de:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \quad (2)$$

Numericamente, o comprimento de onda em Å pode ser obtido a partir da energia E em eV pela fórmula:

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{E}} \quad (3)$$

O tubo de difração de elétrons

Figura c-1. Tubo de raios catódicos para medida de difração de elétrons.

A figura mostra o equipamento experimental que será utilizado nesta experiência. Um filamento aquecido libera elétrons que são acelerados por uma diferença de potencial V de 6 a 10 kV, incidindo sobre um alvo contendo filmes finos de cristais de grafite ou alumínio. Sobre a tela fluorescente do tubo aparece então uma figura de difração que permite, conhecendo-se a estrutura cristalina do material, determinar o comprimento de onda associado ao feixe de elétrons por intermédio da lei de Bragg.

A medida do comprimento de onda dos elétrons

Pela lei de Bragg:

$$\lambda = \frac{2d \sin(\theta)}{n} \quad (4)$$

onde d é a distância interplanar de uma certa família de planos cristalinos e n é a ordem da difração. Os ângulos de difração são obtidos de:

$$2\theta = \arctg\left(\frac{r}{D}\right) \quad (5)$$

onde r é a distância entre o ponto de incidência do feixe direto e um ponto de máximo da figura de interferência, medida sobre a tela fluorescente, e D é a distância entre o alvo e a tela. Como o comprimento de onda dos elétrons de 6 a 10 keV é muito menor que as distâncias interplanares d típicas, as primeiras ordens de difração ocorrem para ângulos pequenos. Além disso, os menores ângulos de difração estarão associados às famílias de maior distância interplanar. Para determinação de com boa precisão devem ser medidos os ângulos de difração correspondentes a diversas famílias de planos e ordens de difração.

Fig. 5: Experimental setup (wiring diagram) for observing the electron diffraction on graphite. Pin connection:

F₁, F₂: sockets for cathode heating

C: cathode cap

X: focusing electrode

A: anode (with polycrystalline graphite foil see Fig. 4)