



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Produção de Energia nuclear em relação à matriz energética: um enfoque CTS

Roberta Pereira Telles Vieira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora

Profa. Dra. Deise Miranda Vianna

Rio de Janeiro

2017

Produção de Energia nuclear em relação à matriz energética: um enfoque CTS

Roberta Pereira Telles Vieira

Orientadora

Profa. Dr^a. Deise Miranda Vianna

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Presidente, Profa. Dra. Deise Miranda Vianna

Prof. Dr. Luiz Fernando de Oliveira

Profa. Dra. Isa Costa

Rio de Janeiro

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

N657t Vieira, Roberta Pereira Telles

Tópicos de Física Nuclear no Ensino Médio através do estudo da produção de energia nuclear: um enfoque CTS / Roberta Pereira Telles Vieira. – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2017.

Vii, f. :101 il. ; 30 cm.

Orientadora: Deise Miranda Vianna.

Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2017.

Referências Bibliográficas: 40 f.40 - 43.

1. Ensino de Física. 2. Fontes de Energia Elétrica.

3. Enfoque CTS. 4. Física Nuclear.

I. Vianna, Deise Miranda. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Tópicos de Física Nuclear no Ensino Médio através do estudo da produção de energia nuclear: um enfoque CTS.

Agradecimentos

Primeiramente Deus, por ter me contemplado com sua companhia e luz, que me direcionaram em todos os momentos.

Ao meu marido Raphael e minha filha Manuela que me apoiaram e souberam lidar com minha ausência em alguns momentos.

À minha mãe, por ter sempre cuidado da minha filha na minha ausência.

À minha orientadora Deise, que sempre me orientou maravilhosamente bem, me permitindo somar suas ideias e que também sempre respeitou e compreendeu minhas responsabilidades pessoais.

Aos professores do Instituto por terem compartilhado comigo seu conhecimento.

A professora Fabíola Correia e aos alunos do Colégio Estadual Professor Fernando Antônio Raja Gabaglia

E aos amigos da turma pelo estudo coletivo e incentivo.

RESUMO

Produção de Energia nuclear em relação à matriz energética: um enfoque CTS

Roberta Pereira Telles Vieira

Orientadora

Profa. Dra. Deise Miranda Vianna

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho é iniciado citando os principais motivos para se contemplar mais nas aulas de Física do Ensino Médio temas da chamada “Física Moderna”, destacando a desatualização da maioria dos currículos adotados nas escolas brasileiras. A seguir, resume-se as principais características do enfoque Ciência- Tecnologia-Sociedade (CTS). Baseada no interesse em se abordar assuntos da “Física Moderna” no Ensino Médio e nas considerações do enfoque CTS, elaboramos uma proposta didática para se trabalhar alguns tópicos da Física Nuclear. O objetivo central é discutir as principais fontes de energia elétrica presentes na Matriz Energética Brasileira. Almejando compreender e analisar melhor a energia nuclear provinda das usinas nucleares, justifica-se a necessidade de se estudar em sala de aula os seguintes tópicos da Física Nuclear: composição e estabilidade nuclear, decaimentos radioativos, tempo de meia-vida, fissão nuclear, reação em cadeia e fusão nuclear. Algumas das atividades contidas na proposta didática foram aplicadas em uma escola estadual do Rio de Janeiro. Os dados desta aplicação serão dispostos neste trabalho e será feita também uma análise sobre os mesmos.

Palavras-chave: Ensino de Física, Fontes de Energia Elétrica, Enfoque CTS, Física Nuclear.

ABSTRACT

Production of nuclear energy in relation to the energy matrix: a STS approach

Roberta Pereira Telles Vieira

Orientadora

Profa. Dra. Deise Miranda Vianna

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work begins by citing the main reasons to more contemplate in High School Physics subjects of the well-known "Modern Physics", highlighting the outdated adopted curricula adopted in most of the Brazilian schools.

The main features of the Science-Technology-Society (CTS) approach are summarized below. Based on the interest in addressing "Modern Physics" issues in High School and the considerations of the CTS approach, we elaborated a didactic proposal to work on some topics of Nuclear Physics.

The main purpose is to discuss the main sources of electric energy present in the Brazilian Energy Matrix. Seeking to better understand and analyze nuclear energy from nuclear power plants, It is justified the need to study in the classroom the following topics of Nuclear Physics: Composition and nuclear stability, radioactive decays, half-life, nuclear fission, chain reaction and nuclear fusion. Some of the activities contained in the didactic proposal were applied in a state school in Rio de Janeiro. The data of this application will be arranged in this work and will also be made an analysis on them.

Keywords: Physics Teaching, Investigative Activities, Heat Island, contextualization.

Sumário

Introdução.....	2
1 Por que ensinar Física Nuclear no Ensino Médio?	4
1.1 Alguns problemas do Ensino de Física.....	4
1.2 Escolha do tema	6
2 Sobre o enfoque CTS.....	9
3 Sobre a Física Nuclear trabalhada na proposta didática.....	16
4 Desenvolvimento da proposta didática.	17
4.1 Sobre a aplicação.	17
4.1.1 Primeira aula.	18
4.1.2 Segunda aula.	21
4.2 Dados da aplicação.	29
4.2.1 Primeira aula.	29
4.2.2 Segunda aula.	32
Considerações Finais.	38
Referências Bibliográficas.	40
Apêndice A Referencial Teórico	45
A.1 Primeira etapa	45
A.1.1 Usinas termoelétricas.	45
A.1.2 Usinas hidrelétricas	46
A.1.3 Biomassa	47
A.1.4 Eólica	48
A.1.5 Energia das marés.	50
A.1.6 Nuclear.....	52
A.1.7 Solar.....	53

A.2 Segunda etapa.....	55
A.2.1 Composição e estabilidade nuclear.....	55
A.2.2 Decaimentos radioativos.....	55
A.3 Terceira etapa	58
A.4 Quarta etapa.....	60
A.4.1 Fissão Nuclear.....	60
A.4.2 Reação em cadeia.....	61
A.5 Quinta etapa.....	63
A.5.1 Lixo Nuclear e acidentes em usinas nucleares.....	63
A.5.2 Fuso Nuclear.....	64
Referências Bibliográficas.....	66
Apêndice B Material do Professor	69
B.1 Primeira etapa: Compreendendo uma notícia de jornal.....	69
B.2 Segunda etapa: Entendendo os decaimentos radioativos.....	76
B.2.1 Composição e Estabilidade Nuclear.....	76
B.2.2 Decaimentos radioativos.....	76
B.3 Terceira etapa: Sobre o tempo de meia-vida.....	81
B.4 Quarta etapa: Fissão Nuclear e Reação em cadeia.....	84
B.5 Quinta etapa: Analisando a Matriz Energética Brasileira e Fusão Nuclear como perspectiva futura para geração de energia elétrica	87
B.5.1 Análise crítica da geração da energia nuclear	87
B.5.2 Fusão Nuclear.....	92
Referências Bibliográficas.....	94
Apêndice C Material do Aluno.....	96
C.1 Primeira etapa	96
C.2 Segunda etapa	99
C.3 Terceira etapa.....	99
C.4 Quarta etapa	100

C.5 Quinta etapa	101
Referências Bibliográficas.....	102

Introdução

Descobertas científicas que tiveram seu início no século XX deram suporte para o ser humano criar novas tecnologias e novas teorias. A sociedade é cada vez mais contagiada por esses avanços tecnológicos, o que torna as pessoas mais interessadas e atraídas a entender estas novidades. Portanto, há assuntos da “Física Moderna” que são indispensáveis para esse entendimento almejado pelo cidadão.

Entretanto, o currículo adotado pela maioria das escolas brasileiras ainda contempla um ensino centrado na repetição e memorização de conceitos e teorias do século retrasado. O ensino de Física no nível médio é distante da realidade dos estudantes, o que os faz classificá-lo como obsoleto, monótono e desinteressante.

Este trabalho é uma proposta para se abordar um dos temas da chamada “Física Moderna” nas aulas de Física do Ensino Médio. Baseado no enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), almeja-se introduzir alguns tópicos da Física Nuclear classificados como essenciais para se poder compreender e analisar criticamente a geração da energia elétrica pelas usinas nucleares.

Os tópicos da Física Nuclear contemplados são: composição e estabilidade nuclear, decaimentos radioativos, tempo de meia-vida, fissão nuclear, reação em cadeia e fusão nuclear. Contemplar tais tópicos no Ensino Médio com o enfoque CTS significa promover nos jovens competências para, por exemplo, avaliar riscos e benefícios para a sociedade decorrentes da utilização das radiações.

É proposta uma sequência de aulas, explicando minuciosamente os passos a serem dados pelo professor em cada etapa e o que se objetiva com cada um deles. Foi feita uma aplicação das principais ideias desta proposta em uma escola pública estadual do Estado do Rio de Janeiro. Esta experiência será relatada no trabalho. A mesma não foi exatamente como determina a proposta devido a algumas justificativas que também serão descritas.

O capítulo 1 aborda alguns problemas do ensino de Física, justificando através destes o motivo da escolha do tema deste trabalho.

O capítulo 2 resume as principais características e considerações do enfoque utilizado na proposta, o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), objetivando informar o leitor sobre o mesmo.

O terceiro capítulo, cita e explica quais tópicos da Física Nuclear são contemplados na proposta de aula além de justificar o motivo da escolha de cada um deles.

Já o capítulo 4, descreve o desenvolvimento da aula aplicada assim como disponibiliza os dados obtidos nesta aplicação.

E, por último, o capítulo 5 contém as considerações finais do trabalho aplicado.

Foi elaborado o Apêndice A que contém um pequeno referencial teórico sobre todos os conceitos, teorias e informações que o professor deve saber para poder ministrar as etapas da proposta. Ele serve como um material de referência de estudo para o professor aumentar e rever seus conhecimentos sobre os principais tópicos abordados no trabalho.

O Apêndice B é um material dirigido exclusivamente para o professor que pretende aplicar a proposta didática, por se tratar de uma sugestão de planejamento. Ele descreve minuciosamente todas as etapas e orienta o aplicador sobre o que e como deve ser feito. Nele estão descritas as atividades que serão realizadas em sala de aula, assim como sugestões de figuras e vídeos que também podem ser trabalhados.

Já o Apêndice C é um material direcionado unicamente para o aluno que assistir a sequência de aulas. A ideia é que o professor o imprima e distribua para cada aluno. De posse desse material, cada aluno saberá o que lhe cabe fazer em cada etapa da proposta, já que, ele descreve para os estudantes o que deve ser feito por eles durante as atividades. Também estão explicitadas as perguntas que devem ser respondidas pelos jovens. Logo abaixo de cada pergunta, há um espaço disponível para que eles escrevam ali mesmo suas respostas. Portanto, o Apêndice C é um material que o aluno deve ter consigo em todas as etapas da proposta.

1 Por que ensinar Física Nuclear no Ensino Médio?

1.1. Alguns problemas do Ensino de Física

O século passado pode ser considerado um dos períodos mais instáveis para conceitos e significados clássicos da Física. Teorias como a Relatividade Geral e Mecânica Quântica, por exemplo, deram suporte para a criação de novas tecnologias até então nunca imaginadas vindo a influenciar diretamente toda a sociedade. É inegável que os cidadãos vivem inseridos em uma sociedade cada vez mais tecnológica tornando assim a “Física Moderna” imprescindível para o entendimento do mundo construído pelo ser humano.

O termo “Física Moderna”, neste trabalho, refere-se às teorias surgidas a partir do início do Século XX como: a mecânica quântica, que estuda os fenômenos físicos da matéria em escala atômica e a relatividade, que busca explicar os fenômenos em escalas astronômicas. O termo contempla também a Física cujo principal campo de estudo se refere às partículas subatômicas.

As pessoas sentem-se cada vez mais interessadas e atraídas pelos avanços e descobertas científicas mundiais no campo da Física. A mídia através de filmes, histórias em quadrinhos, reportagens de programas científicos, entre outros, informa e aproxima os adolescentes do mundo da ciência e da tecnologia. Portanto, a possibilidade de trabalhar tais assuntos nas escolas pode ser instigante e estimulante (WILSON, 1992 apud BROCKINGTON, 2005).

No entanto, esta divulgação da mídia é, em geral, feita de tal maneira a não fornecer princípios e bases conceituais para que o leitor ou telespectador compreenda avanços e descobertas científicas. Nesse processo, é comum que se criem concepções espontâneas sobre fenômenos e o fazer ciência. Ou seja, em geral, ainda falta ao cidadão comum conhecimento suficiente que o capacite interpretar produtos originados desse avanço tecnológico.

Na grande maioria das escolas brasileiras, tem-se hoje um ensino centrado na repetição, que não dá conta das diversidades de interesses e necessidades dos estudantes. É comum que alunos tragam para as aulas de Física discussões sobre tais assuntos, já que estão mais presentes no seu dia a dia e que despertam neles um interesse em conhecer e entender os princípios físicos responsáveis pela sua explicação.

Porém, como suprir estas necessidades atuais do cidadão com um currículo de Física embasado em conhecimentos dos séculos XVII, XVIII e XIX? Como garantir uma verdadeira formação para a cidadania no mundo atual se os conhecimentos físicos mais contemporâneos encontram-se afastados da Educação Básica?

O ensino de Física no nível médio não tem acompanhado os avanços tecnológicos se mostrando desta forma mais distante da realidade dos alunos. Os estudantes classificam o currículo de obsoleto e descontextualizado e consideram a prática pedagógica monótona e desinteressante, por se resumir à utilização de quadro de giz e soluções de questões.

Um grande desafio a ser enfrentado pelos professores e os pesquisadores em Ensino de Física é uma proposta curricular que forneça condições dos alunos exercerem sua cidadania e que os capacite a aprofundar suficientemente tópicos da Física.

Mais diretamente em relação à Física Moderna:

É necessário, então, que o ensino de Física seja capaz de integrar o aluno ao invés de excluí-lo. A Física Moderna deve ser mostrada como uma construção humana, menos mística, e deve ser ensinada de forma que os alunos sejam seduzidos por ela, e não rejeitados. É imprescindível não apenas que ela seja acessível, mas, principalmente, que seu entendimento passe a ser desejado, descartando sua apresentação meramente informativa. (BROCKINGTON, 2005).

Segundo a Lei de Diretrizes e Base é necessário garantir acesso aos conhecimentos para a formação de um cidadão crítico e consciente. Elementos foram explicitados nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM):

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)

Nos PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) a necessidade discutida também é mencionada:

A presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCNEM. Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. (BRASIL, 2002, p.1).

As Orientações Curriculares Nacionais (PCNs) também afirmam que “uma formação crítica exige por parte dos sujeitos a capacidade de discutir abertamente questões resolvidas em instâncias tecnocráticas, que devem ser amparadas em sólida formação científica e tecnológica” (BRASIL, 2008)

Analisando a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, os Parâmetros Curriculares Nacionais e as Orientações Nacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, percebe-se que o Ensino Médio

atualmente prioriza a formação geral dos estudantes e que busca capacitá-los à pesquisa através de processos como seleção e análise de informações.

Fica justificado, portanto, a introdução de tópicos de Física Moderna na grade curricular do ensino médio. Nos últimos anos, é crescente o debate sobre essa introdução com o intuito de aproximar esse conhecimento dos alunos da educação básica. Dentre as razões que justificam sua abordagem são considerados o reconhecimento da Física como uma ciência construída pelo homem (ZANETTI, 1989), o interesse em despertar a atração de jovens para a carreira científica (STANNARD, 1990), a contribuição para uma mudança de “visão de mundo” (FREIRE JR, 1999) e o não ingresso da maioria dos estudantes no ensino superior, mostrando assim que o Ensino Médio pode ser o único estágio que promova o encontro dos estudantes com a Física moderna (ALVETTI, 1999).

É importante lembrar que o Ensino Médio é a última oportunidade de contato com a ciência para a grande maioria dos estudantes, já que uma parte seguirá cursos universitários que não abraçam carreiras científicas e a outra tentará ser inserida no mercado de trabalho. Dessa forma, os problemas encontrados nesse segmento do ensino, no que diz respeito a uma formação científica mais atual e mais presente no dia a dia, contribuem negativamente para a formação da cidadania de boa parte da população. Não trabalhar conceitos da Física Moderna e Contemporânea na educação básica priva estes futuros cidadãos de tomar conhecimento da nova maneira de interpretar a realidade.

Neste nível de escolaridade devemos estar formando um cidadão, pronto para sua participação na sociedade. Sua formação deve ser global, pois sua capacidade de intervenção na realidade em que está imerso tem relação direta com sua capacidade de compreensão desta mesma realidade. (TERRAZZAN; STRIEDER, 1997, p. 92).

O assunto escolhido para a elaboração da proposta de aula foi a Física Nuclear, contemplando tópicos como radioatividade, fissão e fusão nuclear.

1.2 Escolha do tema

Como já dito anteriormente, alguns tópicos da Física Nuclear foram escolhidos para a elaboração da proposta. Um dos critérios da escolha dos tópicos foi a necessidade de se trabalhar tais assuntos em sala de aula para a capacitação dos estudantes em compreender como a energia nuclear é gerada e utilizada como energia elétrica.

Contemplar esses assuntos no Ensino Médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, avaliar riscos e benefícios decorrentes da utilização das radiações assim como do processo produtivo de energia nuclear. Estudar as radiações e seus processos (fissão e fusão nuclear), proporciona uma abordagem e compreensão dos fenômenos do universo físico microscópico.

Desta forma, desenvolve-se habilidades e competências no ensino de Física de

forma a dar significado aos conhecimentos adquiridos, contribuindo assim para uma formação científica mais crítica e também mais adequada à formação cidadã.

Tanto as Orientações Curriculares Nacionais, quanto os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), defendem e exigem a inserção da Física Moderna no Ensino Médio. Segundo os PCNs:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. Mas será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo da matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico (BRASIL, 2002)

Outro motivo fundamental da escolha do assunto para a elaboração da proposta de aula foi a escassez de publicações sobre o tema. Procurou-se artigos desde 2010 até então em revistas e cadernos nacionais, entre eles, Revista Brasileira de Ensino de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Física na Escola, Experiências em Ensino de Física, Investigações em Ensino de Física e Associação Brasileira de Pesquisa em Educação e Ciências (ABRAPEC). Entretanto, pouquíssimos trabalhos foram encontrados. Além de serem poucos os artigos que tratam de algo relacionado à Física Nuclear, é menor ainda o número dos que sugerem uma proposta de aula sobre o tema. Foram analisados quatro artigos: dois do Caderno Brasileiro de Ensino de Física e outros dois da Física na Escola.

No primeiro artigo analisado, Souza e Dantas (2010) objetivam mostrar que, embora alguns conceitos da Física Nuclear tenham uma descrição quantitativa extremamente complexa, é possível torná-los qualitativamente simples sem precisar recorrer à formulações matemáticas avançadas, justificando, portanto, a possibilidade de aborda-los em nível Médio. Inicialmente, discute-se a motivação educacional para a proposta do ensino conceitual da fenomenologia nuclear e, sequencialmente, aborda-se sucintamente a história do desenvolvimento do modelo atômico e sugere-se os tópicos, a saber, decaimento alfa, transmutação nuclear, efeito Möessbauer, força nuclear forte, fissão e fusão nuclear, enriquecimento de urânio e reatores nucleares para serem trabalhados nas aulas de Física do Ensino Médio. Os autores defendem que no processo o professor é mediador do conhecimento, devendo contextualizar os conteúdos ministrados com o cotidiano do aluno.

No mesmo periódico, Soares, Moraes e Oliveira (2015), utilizam junto a duas turmas do 3º ano do Ensino Médio da rede pública de São Paulo algumas maneiras de

fazer uso do computador e de simuladores interativos para uma melhor compreensão de alguns fenômenos físicos. Utilizaram simulações interativas desenvolvidas pelo projeto Physics Educational Technology (PhET) da Universidade do Colorado para explorar os tópicos espectroscopia, radioatividade e Física nuclear. Os temas foram abordados separadamente, isto é, um em cada duas aulas de 50 minutos e posturas foram tomadas objetivando maximizar a interação entre os estudantes, o professor e o problema em discussão. Concluíram que o uso de tais simuladores interativos auxiliou no processo de ensino de tais tópicos, ajudando em sua compreensão e despertando o interesse dos estudantes para o tema.

Já em outra revista, Schappo (2010), enfrentou problemas didáticos em um minicurso para alunos do Ensino Médio ao tratar dos conceitos da Física Nuclear que permeiam os reatores nucleares e os processos que neles ocorrem, dada a dificuldade de visualização e representação destes no mundo macroscópico e palpável aos alunos. Como tentativa de solução do problema, montou-se um modelo concreto que caracteriza o núcleo e que utiliza ímãs (representando os prótons), velcro, bolas eletromagneticamente neutras (representando os neutrons) e fita adesiva. Sendo assim, evidenciou-se as principais propriedades nucleares e os principais fenômenos envolvidos nas reações de geração de energia nuclear. No artigo, o autor faz uma discussão superficial sobre a caracterização e composição do núcleo, defeito de massa e energia de ligação e por fim, o modelo da gota líquida, objetivando servir de base para um professor do ensino médio entender e utilizar o modelo concreto proposto.

Ainda na mesma revista do artigo acima, Vieira (2011) relata os principais acontecimentos da vida de Rutherford e os correlaciona às contribuições do pesquisador para o desenvolvimento do modelo atômico e, conseqüentemente, da Física Nuclear.

Percebe-se que o primeiro e o terceiro artigos citados são tentativas de proposta de aula sobre Física Nuclear. O primeiro defende que há conceitos importantes da Física Nuclear, possíveis de serem trabalhados de forma qualitativa e simples, e o terceiro sugere um modelo concreto na tentativa de facilitar a compreensão das principais propriedades e fenômenos nucleares. O quarto não se trata de uma proposta de aula, mas apenas um referencial de pesquisa sobre o desenvolvimento atômico, enquanto que o segundo apenas explora alguns tópicos da Física Nuclear para comprovação de que o uso de computadores e simuladores interativos facilitam a compreensão de alguns fenômenos físicos. Através dessa busca, percebe-se, portanto, a escassez de artigos cujo tema principal seja uma proposta de como se trabalhar tópicos da Física Nuclear no Ensino Médio.

2 Sobre o enfoque CTS

Em meados de 1960, em países da América do Norte e Europa, devido a estudos e movimentos, surgiram discussões sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Nesta época, buscava-se exercer uma influência social e política sobre a ciência e a tecnologia. A relação da ciência e da tecnologia com o desenvolvimento da vida social, passou a ser discutida e emergiu também a necessidade de se tomar consciência em relação aos problemas ambientais, éticos e sociais devido aos avanços da ciência e da tecnologia (VALÉRIO; BAZZO, 2006).

A produção da Ciência e Tecnologia está vinculada a valores, interesses econômicos e sociais e sua utilização pode estar associada a riscos e prejuízos para a sociedade como um todo. Portanto, é importante a construção de uma sociedade crítica e reflexiva para que, através da participação pública, critérios éticos e sociais sejam incorporados nas decisões sobre os rumos do desenvolvimento científico-tecnológico.

Há concepções de que muitos consomem os progressos e evoluções da Ciência e Tecnologia, mas somente alguns conseguem compreendê-las. A participação da sociedade é pequena nas decisões sobre a construção e o desenvolvimento científico-tecnológico. Sendo assim, a Ciência é vista pela maioria como detentora de um saber incontestável, eficaz e confiável.

Surge assim, nos anos sessenta, o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) no ensino de ciências, cujos princípios eram: mostrar a ciência como uma atividade da humanidade e formar um aluno capaz de tomar decisões inteligentes e conscientes. (SANTOS; MORTIMER, 2002)

Segundo Santos, para o contexto educacional:

Um objetivo central deste movimento de reforma é o desenvolvimento de uma cidadania responsável – uma cidadania individual e social para lidar com problemas que têm dimensões científicas e tecnológicas, num contexto que se estende para além do laboratório e das fronteiras das disciplinas. Tornar a ciência revestida de mais significado para o aluno, de forma a prepará-lo melhor para lidar com as realidades da vida atual e para poder planejar o seu próprio futuro, é uma das aspirações básicas (SANTOS, 2001).

Como fatores que propiciaram o surgimento de propostas de ensino CTS devem ser considerados também o agravamento dos problemas ambientais pós-guerra, a tomada de consciência de muitos intelectuais com relação às questões éticas, a qualidade de vida da sociedade industrializada, a necessidade da participação popular nas decisões públicas, estas cada vez mais sob o controle de uma elite que detém o conhecimento científico e, sobretudo, o medo e a frustração decorrentes dos excessos tecnológicos (SANTOS; MORTIMER, 2002).

Abordar um tema com o enfoque CTS significa almejar esclarecer que a ciência é uma construção social; que a sociedade sofre mudanças devido ao desenvolvimento

científico e tecnológico; que a produção de novos conhecimentos tem estimulado mudanças tecnológicas; que a tecnologia disponível a um grupo humano influencia grandemente o estilo de vida do grupo; que por meio de investimentos e outras pressões, a sociedade influencia a direção da pesquisa científica e que a disponibilidade dos recursos tecnológicos limitará ou ampliará os progressos científicos (SANTOS; SCHNETZLER, 2003).

O objetivo central da educação com CTS no ensino médio é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões. As propostas identificam, assim, três objetivos gerais: aquisição de conhecimentos, utilização de habilidades e desenvolvimento de valores. (BYBEE, 2002)

As propostas de implementação da abordagem CTS na educação básica têm como finalidade a compreensão de temas sem a supressão dos conhecimentos científicos, pois os mesmos são entendidos como meios necessários para a compreensão dos conceitos. Dessa forma, a apreensão ou apropriação de conteúdos coloca-se na perspectiva de instrumentalizar o aluno para uma melhor compreensão dos temas e para sua atuação na sociedade contemporânea (AULER, 2002).

O conteúdo dos currículos de CTS tem um caráter multidisciplinar. A abordagem é baseada nas interações entre ciência, tecnologia e sociedade. Nesses currículos, procura-se evidenciar como os contextos social, cultural e ambiental, nos quais se situam a ciência e a tecnologia, influenciam a condução e o conteúdo das mesmas; como ciência e tecnologia, por sua vez, influenciam aqueles contextos e, finalmente, como ciência e tecnologia têm efeitos recíprocos e suas inter-relações variam de época para época e de lugar para lugar. (SANTOS e MORTIMER, 2002)

Em outras palavras, um currículo tem ênfase em CTS quando ele trata inter-relações entre explicação científica, planejamento tecnológico e solução de problemas e tomada de decisão sobre temas práticos de importância social (SANTOS; MORTIMER, 2002). Assim, uma proposta curricular de CTS pode ser vista como uma integração entre educação científica, tecnológica e social, em que conteúdos científicos e tecnológicos são estudados juntamente com a discussão de seus aspectos históricos, políticos e socioeconômicos (LÓPEZ; CERESO, 2007).

A educação CTS, através de seu caráter interdisciplinar, inclui reflexões e ações sobre o exercício da cidadania permeando o ensino de disciplinas de base filosófica, histórica e sociológica. Já através de seu caráter contextualizador de conteúdos, destaca-se a necessidade de relacionar a ciência e o conhecimento científico com a tecnologia e situar ambas no contexto social, político e econômico.

Contudo, não há um consenso no que diz respeito aos elementos e conteúdos que precisam ser considerados e/ou priorizados na organização dos temas e dos conhecimentos necessários para compreendê-los. Apenas destaca-se a natureza

interdisciplinar e a abordagem contextualizada dos conceitos científicos. (CRUZ, 2001)

As propostas que incorporaram uma perspectiva de reflexão sobre consequências ambientais passaram a ser denominadas ciência-tecnologia-sociedade-ambiente – CTSA. Em tese, pode-se dizer que, pela sua origem, todo movimento CTS incorpora a vertente ambiental à triade CTS. Ocorre que discussões sobre CTS podem tomar um rumo que não, necessariamente, questões ambientais sejam consideradas ou priorizadas e, nesse sentido, o movimento CTSA vem resgatar o papel da educação ambiental do movimento inicial de CTS. Em outras palavras, pode-se dizer que o objetivo principal dos currículos CTS é o desenvolvimento da capacidade de *tomada de decisão*. Já o objetivo central do movimento CTSA acrescenta aos propósitos de CTS a ênfase em questões ambientais, visando a promoção da *educação ambiental* (SANTOS, 2007).

No Brasil, na década de setenta, os currículos começaram a incorporar uma visão de ciência como produto do contexto econômico, político e social. Já na década de oitenta, a renovação do ensino de ciências passou a se orientar pelo objetivo de analisar as implicações do desenvolvimento científico e tecnológico (KRASILCHIK, 2002).

O enfoque CTS é indicado para a formação de cidadãos que atuem responsabilmente em relação a temas que abordem aspectos sociocientíficos. Esta é uma visão humanista para o ensino de ciências.

Assim, uma pessoa letrada tecnologicamente teria o poder e a liberdade de usar os seus conhecimentos para examinar e questionar os temas de importância na sociotecnologia. Isso implica ser crítico no uso da tecnologia, ou seja, ter a habilidade intelectual de examinar os prós e contras do desenvolvimento tecnológico, examinar seus benefícios e seus custos e perceber o que está por trás das forças políticas e sociais que orientam esse desenvolvimento (SANTOS, 2007).

A abordagem de conteúdos deve proporcionar ao estudante da educação básica a construção do seu conhecimento a partir de discussões que envolvam o papel social da ciência-tecnologia inserida no mundo atual, a fim de possibilitar que ele desenvolva uma visão crítica do mundo globalizado.

Em outras palavras, podemos afirmar que abordar as relações CTS implica no estudo do conhecimento científico articulado com a discussão de aspectos ambientais, econômicos, políticos, sociais, históricos, tecnológicos e éticos. Sendo assim, um tema quando levado à sala de aula não pode deixar de evidenciar as relações mais complexas, tanto no que se refere aos aspectos conceituais quanto aos sociais, políticos e econômicos.

A perspectiva do enfoque CTS, além de objetivar capacitar o estudante a entender as modificações causadas na sociedade pelo desenvolvimento científico-tecnológico, preconiza também que a educação básica deve preparar o aluno para enfrentar o mundo em que vive, tornando-o um cidadão consciente e atuante.

Enfim, uma perspectiva de CTS crítica tem como propósito a problematização de temas sociais, de modo a assegurar um comprometimento social dos educandos. Assim, propostas curriculares com essa visão precisam levar em consideração o contexto da sociedade tecnológica atual, caracterizado de forma geral por um processo de dominação dos sistemas tecnológicos que impõem valores culturais e oferecem riscos para a vida humana (SANTOS, 2007).

O motivo da nossa proposta de aula ser baseada no enfoque CTS é a mesma ter como base a problematização de temas sociais objetivando capacitar alunos a entender as modificações causadas na sociedade pelo desenvolvimento científico-tecnológico, aumentando assim a conscientização e atuação da população nas decisões públicas de sua nação.

A tendência dos currículos de Ciências tradicionais é, por exemplo, ensinar nomes científicos de agentes infecciosos e processos de desenvolvimento das doenças, mas não refletir sobre as condições sociais que determinam a existência de muitos desses agentes em determinadas comunidades. Da mesma forma, se ilustra exemplos do cotidiano de processos de separação de materiais como catação, mas não se discute os determinantes e as consequências do trabalho desumano de catadores em lixões do Brasil (SOUZA; VIANNA, 2014).

Nossa proposta tem objetivos diferentes dos objetivos dos currículos tradicionais. Nela, o foco de “o que ensinar em Física” passa a ser centrado em “para que ensinar Física”. A ciência deixa de ser ensinada pura e simplesmente para informar sua existência e passa a ser uma ferramenta que o aluno poderá usar para compreender o mundo e modifica-lo.

Pesquisas sobre abordagens mais efetivas de CTS mostram que geralmente a estrutura dos materiais de ensino com esse enfoque é descrita pela seguinte sequência: (1) introdução de um problema social; (2) análise da tecnologia relacionada ao tema social; (3) estudo do conteúdo científico definido em função do tema social e da tecnologia introduzida; (4) estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo apresentado; e (5) discussão da questão social original. (AIKENHEAD, 1994)

A sequência de etapas da nossa proposta se assemelha com os passos descritos no parágrafo anterior. Primeiramente, introduziu-se um problema social através do estudo da matéria do jornal, mostrando a relação entre o aumento da conta de luz do consumidor com a escassez de água. Considerando como passo (2), analisou-se alguns modos de produção energética desenvolvidos pelo ser humano, considerando as necessidades físicas de instalação e funcionamento, assim como as consequências de seu uso para a sociedade. O conteúdo científico definido em função do tema social foram os tópicos da Física Nuclear trabalhados da segunda até a quarta etapa. Depois de se ter estudado estes tópicos, pode-se compreender a tecnologia usada na geração de energia elétrica por meio das usinas nucleares, sendo este o passo (4). E como quinto e último passo, discutiu-se a questão social original, analisando as consequências sociais da

geração da energia nuclear e completando também a tabela que possibilitou a comparação entre os diversos modos de produção energética.

As propostas de ensino que consideram ser baseadas em CTS, com relação aos objetivos gerais de tal enfoque, apresentam diferentes prioridades em relação ao seu foco central. Isto levou Aikenhead (1994) a agrupar estes trabalhos em categorias cujo critério principal de seleção é a prioridade atribuída para cada um dos objetivos gerais de CTS e da proporção entre o conteúdo de CTS e o conteúdo puro de ciências.

A Figura 1 explicita estas classificações. Conforme se segue na ordem crescente das categorias, o conteúdo CTS aumenta em relação ao conteúdo puro de ciências. Sendo assim, a categoria 1 corresponde a 0% de conteúdos CTS e a categoria 8 a 100%.

Categorias	Descrição	Exemplos
1. Conteúdo de CTS como elemento de motivação.	Ensino tradicional de ciências acrescido da menção ao conteúdo de CTS com a função de tornar as aulas mais interessantes.	<i>O que muitos professores fazem para "dourar a pílula" de cursos puramente conceituais</i>
2. Incorporação eventual do conteúdo CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de pequenos estudos de conteúdo de CTS incorporados aos tópicos de ciências. O conteúdo de CTS não é resultado do uso de temas unificadores.	<i>Science and Technology in Society (SATIS, UK), Consumer Science (EUA), Values in School Science (EUA).</i>
3. Incorporação sistemática do conteúdo CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de uma série de pequenos estudos de conteúdo de CTS integrados aos tópicos de ciências, com a função de explorar sistematicamente o conteúdo de CTS. Esses conteúdos formam temas unificadores.	<i>Havard Project Physics (EUA), Science and Social Issues (EUA), Nelson Chemistry (Canadá), Interactive Teaching Units for Chemistry (UK), Science, Technology and Society, Block J. (EUA). Three SATIS 16-19 modules (What is Science? What is Technology? How Does Society decide? – UK).</i>
4. Disciplina científica (Química, Física Biologia) por meio do conteúdo CTS	Os temas de CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências e a sua seqüência, mas a seleção do conteúdo científico por ainda é feita partir de uma disciplina. A lista dos tópicos científicos puros é muito semelhante àquela da categoria 3, embora a seqüência possa ser bem diferente.	<i>ChemCon (EUA), os módulos holandeses de física como Light Sources and Ionizing Radiation (Holanda: PLON), Science and Society Teaching units (Canadá), Chemical Education for Public Understanding (EUA), Science Teachers' Association of victoria Physics Series (Austrália).</i>

5. Ciências por meio do conteúdo de CTS	organiza o conteúdo e sua seqüência. O conteúdo de ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo de CTS. A lista de tópicos científicos puros assemelha-se à listagem de tópicos importantes a partir de	<i>Logical Reasoning in Science and Technology</i> (Canadá), <i>Modular STS</i> (EUA), <i>Global Science</i> (EUA), <i>Dutch Environmental Project</i> (Holanda), <i>Salters' Science Project</i> (UK)
uma variedade de cursos de ensino tradicional de ciências.		
6. Ciências com conteúdo de CTS	O conteúdo de CTS é o foco do ensino. O conteúdo relevante de ciências enriquece a aprendizagem.	<i>Exploring the Nature of Science</i> (Ing.) <i>Society Environment and Energy Development Studies</i> (SEEDS) modules (EUA), <i>Science and Technology 11</i> (Canadá)
7. Incorporação das Ciências ao conteúdo de CTS	O conteúdo de CTS é o foco do currículo. O conteúdo relevante de ciências é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais da ciência.	<i>Studies in a Social Context</i> (SISCON) in <i>Schools</i> (UK), <i>Modular Courses in Technology</i> (UK), <i>Science A Way of Knowing</i> (Canadá), <i>Science Technology and Society</i> (Austrália), <i>Creative Role Playing Exercises in Science and Technology</i> (EUA), <i>Issues for Today</i> (Canadá), <i>Interactions in Science and Society</i> – vídeos (EUA), <i>Perspectives in Science</i> (Canadá)
8. Conteúdo de CTS	Estudo de uma questão tecnológica ou social importante. O conteúdo de ciências é mencionado somente para indicar uma vinculação com as ciências.	<i>Science and Society</i> (UK.), <i>Innovations: The Social Consequencies of Science and Technology</i> program (EUA), <i>Preparing for Tomorrow's World</i> (EUA), <i>Values and Biology</i> (EUA).

Figura 1 – Categorias de Ensino de CTS (AIKENHEAD, 1994 apud MORTIMER; SANTOS, 2002, p. 55-56)

Na proposta, os tópicos de Física Nuclear são abordados com os alunos devido à necessidade de se analisar os benefícios e malefícios que a energia nuclear pode gerar para a sociedade. Para se evidenciar a falta de conhecimentos para a análise crítica da energia nuclear, o professor debate com a turma uma matéria de jornal, motivadora para o debate de modos de produção de energia, incluindo entre eles, a energia nuclear. A primeira etapa da proposta, além de ser inteiramente destinada ao debate de um tema que relaciona a Ciência e a Tecnologia com consequências sociais, inclui a justificativa dos temas das etapas seguintes.

A última etapa da proposta também relaciona a Ciência e a Tecnologia com consequências sociais porque finalmente analisa criticamente a energia nuclear e a

Matriz Energética além de apresentar a Fusão Nuclear como uma possível fonte de energia muito mais abundante que as outras.

Ou seja, segundo a classificação de AIKENHEAD (1994), nossa proposta estaria na categoria 4, já que o tema de CTS é utilizado para organizar os conteúdos (os tópicos da Física Nuclear) incluídos nas seguintes etapas a partir da disciplina Física.

3 Sobre a Física Nuclear trabalhada na proposta didática

O objetivo central da proposta didática é discutir as principais fontes de energia elétrica presentes da Matriz Energética Brasileira, através de um enfoque CTS, para trabalhar tópicos da Física Nuclear em aulas de Física no Ensino Médio, almejando possibilitar os estudantes compreenderem a produção da energia nuclear. O principal critério considerado na escolha destes tópicos foi a relevância dos mesmos para ser possível compreender a geração de energia nas usinas nucleares.

Os tópicos desenvolvidos são composição e estabilidade nuclear, decaimentos radioativos, tempo de meia-vida, fissão nuclear, reação em cadeia e fusão nuclear.

Dentro de um reator nuclear, a energia nuclear é originada devido a milhares de reações em cadeia decorrentes de milhares de fissões nucleares. Para que o aluno seja capaz de compreender este processo, é necessário que o mesmo entenda o que é uma fissão nuclear que, neste caso, origina a reação em cadeia. Para tanto, é necessário estudar sobre os decaimentos radioativos e, para ser possível este estudo, é indispensável o conhecimento da composição e estabilidade nuclear.

Após a compreensão da geração da energia nuclear provinda das usinas nucleares, é cabível uma análise deste modo de geração de energia elétrica. Nesta análise, um dos pontos que certamente será relevante, é a questão do lixo radioativo. Para ser possível entender a dificuldade de armazenamento do lixo, é de extrema importância que os estudantes saibam sobre o tempo de meia-vida de um elemento radioativo.

Como as aulas são baseadas no enfoque CTS, almeja-se gerar na sala de aula um debate que possibilite a análise crítica dos jovens sobre as diversas modalidades de geração de energia elétrica para a sociedade. Portanto, é oportuno apresentar a fusão nuclear como uma fonte promissora de produção de energia elétrica que é bastante visada e estudada pelo ser humano.

Lembra-se ao professor que há disponível, no Apêndice A, um material que aborda, resumidamente, os tópicos da Física Nuclear citados acima por serem utilizados na proposta didática.

4 Desenvolvimento da proposta didática

A proposta de aula é sobre o tema de Física Nuclear para o curso de Física do Ensino Médio. Baseia-se no enfoque CTS, minimiza ao máximo o formalismo matemático e prioriza conceitos e discussões. Neste capítulo, será descrito como foi a aplicação dos conteúdos e divulgados os dados desta aplicação.

4.1 Sobre a aplicação

A proposta foi aplicada em uma turma diurna de segunda série do Ensino Médio do Colégio Estadual Professor Fernando Antônio Raja Gabaglia, localizado no município do Rio de Janeiro no bairro de Campo Grande. Ocorreu em novembro de 2015, no quarto bimestre do ano letivo. Neste bimestre, o Currículo Mínimo (SEEDUC, 2012), documento de referência que orienta os planos de curso e as aulas das escolas estaduais do Rio de Janeiro, determina as seguintes competências e habilidades para turmas de segunda série, para o bimestre citado:

- Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina.
- Compreender que a energia nuclear pode ser obtida por processos de fissão e fusão nuclear.
- Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos.
- Compreender que o Sol é a fonte primária da maioria das formas de energia de que dispomos.
- Identificar que a energia solar é de origem nuclear.
- Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência, tecnologia e sociedade.
- Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.
- Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e/ou destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.

A determinação de todos os pontos citados acima foi motivadora para a aplicação da proposta, dividida em cinco etapas. A finalidade principal é introduzir, através de um enfoque CTS, tópicos da Física Nuclear essenciais para se compreender como é gerada a energia elétrica através da energia nuclear. Cada etapa está planejada para ser aplicada em uma aula de dois tempos (cinquenta minutos cada tempo). Devido às condições da escola, a aplicação foi feita somente em duas aulas, ou seja, em quatro

tempos divididos em dois encontros. Portanto, não distribuiu-se o Apêndice C para a classe, já que este é baseado na proposta didática do Apêndice B (dividida em cinco etapas ao invés de duas, como foi aplicada).

A turma na qual as aulas foram aplicadas tinha uma professora de Física que cedeu alguns de seus tempos para a aplicação de nossas atividades, mas pediu que as últimas aulas do bimestre fossem destinadas a atividades programadas em seu planejamento. Ela desejava aplicar trabalhos e fazer com a turma uma revisão para a prova bimestral que foi elaborada por ela mesma. Conseqüentemente, as aulas disponíveis do bimestre não seriam suficientes para a realização das cinco etapas da proposta e das atividades desejadas pela professora.

Para o nosso registro, fotografamos alguns momentos de nossas atividades. Pedimos à professora de Física da turma que, em uma aula antes da nossa, fosse entregue a cada aluno um termo de autorização de uso de imagem. Por se tratar de alunos menores de idade, cada um levou o termo para casa e o trouxe devidamente assinado pelo responsável (nos casos de permissão do responsável) para nossa aula. Antes do início da nossa primeira aula, recolhi os termos assinados. Os alunos que não trouxeram a autorização, não foram fotografados. O termo de autorização do uso de imagem que cada aluno recebeu está no anexo.

4.1.1 Primeira aula

A proposta recomenda que a Tabela 1 (do Apêndice B) seja inicialmente construída na primeira etapa, em sala de aula, pelo professor com o auxílio da turma e posteriormente completada na última etapa após a classe ter condições de analisar os aspectos positivos e negativos das usinas nucleares. Apesar da instrução, a tabela não foi trabalhada com a turma devido à falta de tempo. Por já saber dos dois encontros apenas, foi decidido já apresentar as modalidades de energia através da Matriz Energética.

A matéria inicialmente trabalhada em sala destacou o aumento da produção de energia elétrica proveniente das termelétricas devido à diminuição da oferta das hidrelétricas em 2013. Considerou-se oportuno, portanto, comparar as Matrizes dos anos adjacentes a 2013 para checar se o ocorrido foi algo típico ou atípico na produção de energia elétrica.

O objetivo da primeira aula é destacar a energia nuclear como fonte de produção de energia elétrica no nosso país. Para o início do estudo, debateu-se com a turma o texto 1 (ver Apêndice C). Para tanto, a turma foi dividida em quatro grupos numerados de 1 a 4 e distribuiu-se para cada a matéria do jornal impressa e a pergunta correspondente à numeração do grupo.

Reservou-se, inicialmente, alguns minutos da aula para que um representante de cada grupo lesse em voz baixa para os demais componentes do grupo e que todos do grupo, juntos, discutissem o texto tentando responder a pergunta feita ao final do

mesmo. As figuras 2 e 3 abaixo mostram os grupos discutindo o texto recebido.



Figura 2 – Alunos separados em grupo (Elaborada pela autora)



Figura 3 – Turma dividida em grupos e a professora de Física da turma (Elaborada pela autora)

Para início da discussão do texto pela turma, foi pedido que o aluno do primeiro grupo expusesse para a classe sua pergunta e resposta explicando os pontos considerados pelo grupo para a elaboração da resposta. Gradativamente, os outros grupos fizeram o mesmo procedimento respeitando a sequência numérica.

A quarta pergunta permitiu evidenciar a existência de outras formas de produção de energia. Consequentemente, mostrou-se a Matriz Energética Brasileira de 2013 para que outros modos de produção fossem visualizados. Como a matéria abordava o aumento da utilização das usinas termoelétricas devido à diminuição da produtividade das hidrelétricas, foi conveniente mostrar as Matrizes dos anos adjacentes a 2013 para poder se analisar o percentual destas duas modalidades de geração em tais anos.

As Matrizes foram visualizadas através das figuras 4 a 6:

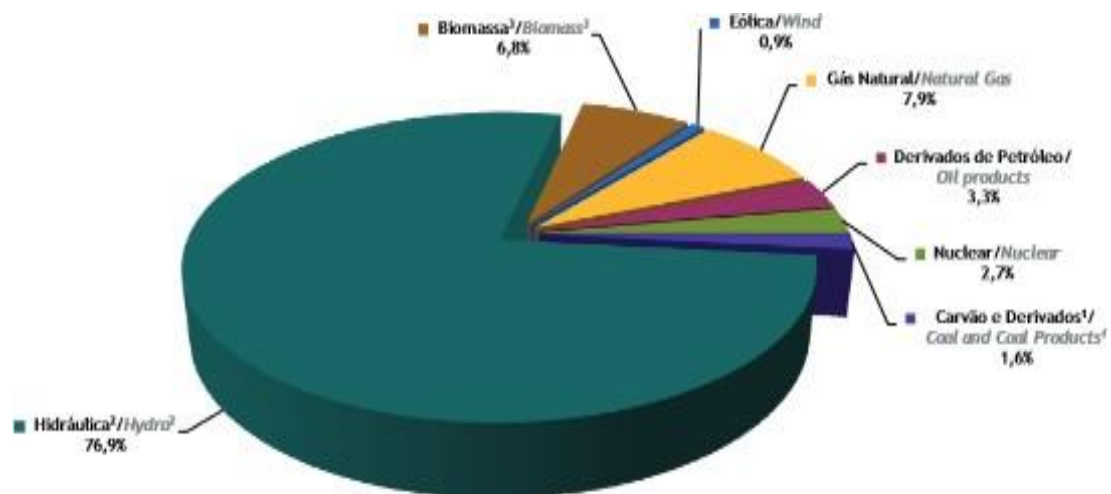


Figura 4 – Oferta interna de energia elétrica por tipo de fonte em 2012. Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2013.

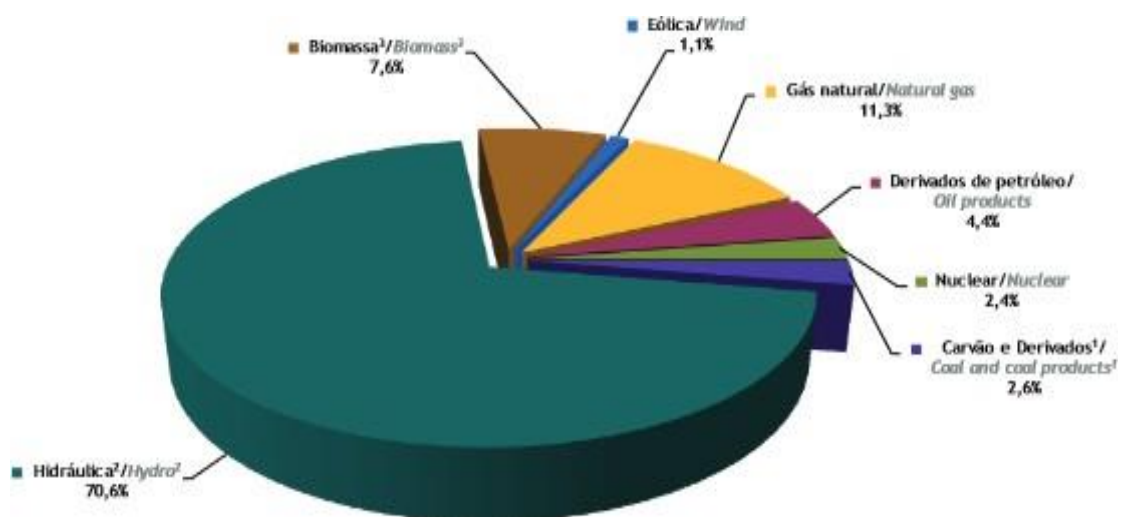


Figura 5 – Oferta interna de energia elétrica por tipo de fonte em 2013. Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2014.

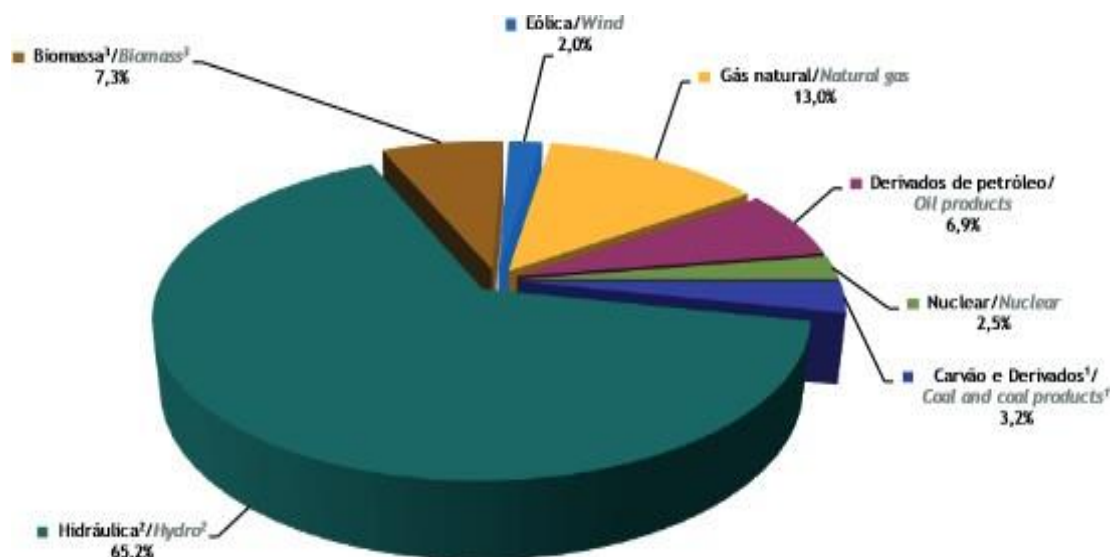


Figura 6 – Oferta interna de energia elétrica por tipo de fonte em 2014. Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2015.

As porcentagens contidas nos gráficos referentes às hidrelétricas facilitaram a comparação do uso das hidrelétricas e das termoeletricas nos três anos. Ficou evidente a queda do percentual das hidrelétricas e o aumento das termoeletricas. Esta análise foi feita sempre destacando que a diminuição do percentual das hidrelétricas provocava o aumento das termoeletricas. Após esta conclusão, iniciou-se a análise dos outros modos de geração de energia.

As modalidades de produção energética analisadas foram: energia por Biomassa, eólica, solar e por último a nuclear. Esta análise foi feita oralmente com a turma projetando as figuras 3, 4, 5 e 7, sugeridas no Apêndice B, para auxiliar na discussão das modalidades de produção energética.

Após a discussão, a aula foi finalizada informando aos alunos que para ser possível uma avaliação mais profunda sobre a energia nuclear, era necessário estudar alguns tópicos da Física Nuclear. Desta maneira, informou-se à classe que na próxima aula alguns tópicos da Física Nuclear seriam trabalhados. A maioria dos alunos se mostrou interessado na aula seguinte porque desejava mais informações sobre o assunto.

4.1.2 Segunda aula

Os temas trabalhados na segunda aula foram: composição e estabilidade nuclear, decaimentos radioativos, fissão nuclear e reação em cadeia. Segundo a proposta, estes temas seriam trabalhados em três etapas, ou seja, em três aulas. Mas, devido às justificativas já mencionadas no início do capítulo, não foi possível a aplicação da maneira que era desejada, e os tópicos citados foram trabalhados em apenas uma aula de dois tempos (cada tempo de cinquenta minutos).

O primeiro tópico trabalhado na aula foi a estabilidade nuclear. Para ser possível tal estudo, fiz uma pequena revisão com os alunos ao desenhar no quadro o modelo

atômico, destacando as interações atrativa e repulsiva entre as partículas atômicas assim como a composição nuclear. A professora de Química da turma informou que já havia estudado o modelo atômico em suas aulas. Entretanto, as interações entre as partículas ainda não haviam sido trabalhadas, já que este assunto é incluído apenas no currículo da terceira série do Ensino Médio. Devido a isto, foi necessário informar a turma sobre as interações elétricas entre as partículas nucleares.

Após relembrar a turma sobre as partículas nucleares já conhecidas (prótons, nêutrons e elétrons) e definir as principais características da força elétrica que atua nas partículas nucleares, perguntou-se inicialmente se alguém sabia a explicação da união dos prótons no núcleo, já que entre eles existe a força de repulsão elétrica. Um aluno sugeriu em voz alta a existência de algo que anulasse a repulsão entre os prótons. Tentando auxiliar este aluno a chegar à conclusão correta, perguntou-se a ele se essa força poderia ter qualquer valor para anular a força de repulsão. O aluno imediatamente respondeu que a força deveria ter o mesmo valor da força de repulsão. Como continuação do raciocínio, perguntou-se a ele o que aconteceria se a força fosse maior ou menor que a elétrica. O mesmo respondeu que se a força fosse menor, os prótons deveriam se afastar, já que a força elétrica ganharia, e, se a força fosse maior os prótons não conseguiriam se afastar. Consequentemente, a turma chegou à conclusão da existência de uma força atrativa de mesma ou maior intensidade que a repulsiva e que justifica a coesão nuclear. Na finalização deste raciocínio, informou-se que esta força é chamada de força nuclear e que possui curto alcance quando comparada à força elétrica.

Ao mencionar a diferença de alcance entre as duas forças, foi desenhado no quadro a Figura 7.

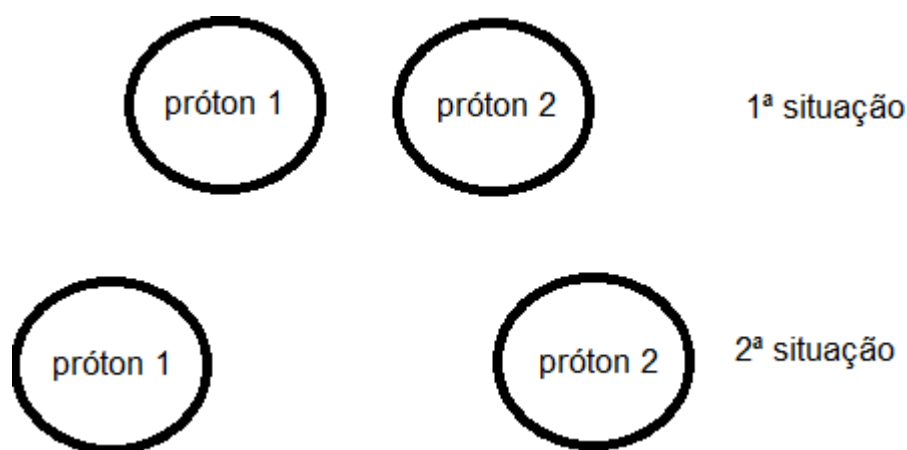


Figura 7 – Prótons com distâncias diferentes (Elaborada pela autora)

Foi perguntado à turma em quais das situações era mais provável a união dos prótons. Por já saberem que o alcance da força elétrica era maior que a da força nuclear, alguns alunos conseguiram responder que a união dos prótons era mais fácil na primeira situação, já que a distância entre eles era menor. A classe conseguiu, desta maneira,

concluir que a distância entre os prótons, ou seja, o tamanho do núcleo, é um fator relevante para a estabilidade do núcleo.

Após esta conclusão, também foi desenhado no quadro o esquema da Figura 8:

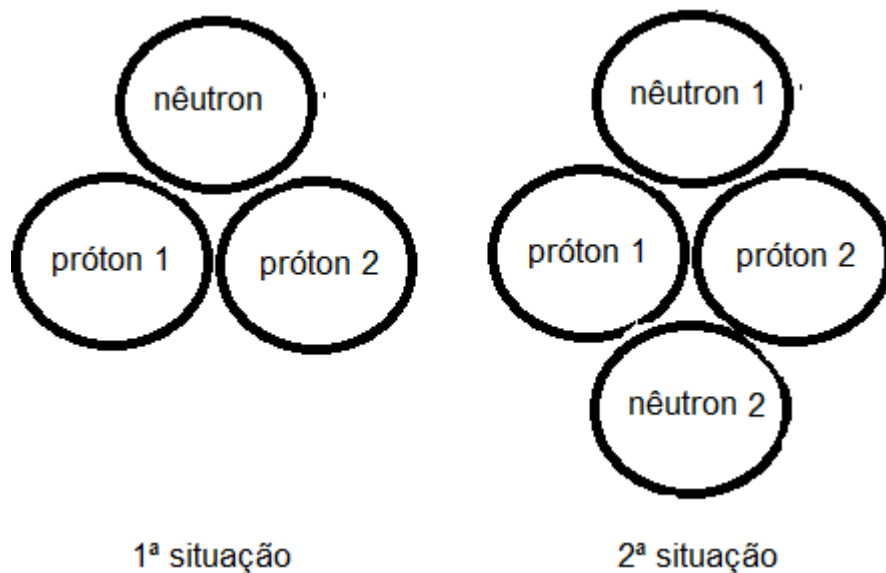


Figura 8 – Diferentes quantidades de nêutrons (Elaborada pela autora)

Perguntou-se à turma em qual das duas situações era mais fácil que os prótons ficassem unidos. Um estudante respondeu que deveria ser a segunda situação porque havia mais nêutrons e, conseqüentemente, mais força atrativa. Pode-se concluir desta forma, que a quantidade de nêutrons também é um fator que influencia na estabilidade do núcleo atômico. Para um núcleo grande ser estável, por exemplo, é necessário maior quantidade de nêutrons, já que, a interação entre prótons e nêutrons, seja a força nuclear ou a força elétrica, é sempre atrativa (PERUZZO, 2012).

Sendo assim, pode-se analisar junto à classe os fatores considerados na estabilidade nuclear como: a diferença entre os alcances da força elétrica e da nuclear e a quantidade de nêutrons do núcleo.

As figuras foram utilizadas para facilitar o questionamento dos alunos em relação a fatores relevantes para a obtenção da conclusão desejada. Estas são figuras simples que podem ser facilmente desenhadas por um professor. Estas simples representações auxiliam bastante professores que não possuem aparelhos de projeção de imagens em suas escolas.

Após a turma tomar ciência de que existem núcleos instáveis, foi apresentado o processo de decaimento radioativo como a busca pela estabilidade. As figuras 8, 9 e 10 e o vídeo de Alfredo Luis Mateus do portal PontoCiência (todos disponíveis no Apêndice B) não foram utilizados devido ao pequeno tempo disponível. Apenas foi afirmada para a classe a existência dos três modos de decaimento (alfa (α), beta (β) e gama (γ)) e foram comparadas algumas características de cada processo como a massa e

o poder de penetração. No quadro, equações que generalizam as características dos decaimentos foram escritas e mostradas aos alunos.

O próximo passo foi trabalhar o conceito de tempo de meia-vida. Definiu-se, tradicionalmente, a meia-vida de um elemento radioativo como o intervalo de tempo necessário para que ocorra a desintegração de metade dos núcleos radioativos e destacou-se sua importância através de possíveis aplicações como a estimativa da idade de uma rocha.

A seguir, iniciou-se a atividade para o trabalho do tempo de meia-vida. A turma foi dividida em grupos e distribuiu-se para cada grupo kit composto por uma folha de cartolina, uma garrafa transparente com água colorida por anilina e mais três garrafas idênticas à primeira, contudo vazias. Cada grupo recebeu garrafas de tamanhos e formatos diferentes. Como exemplo pode ser considerado que um grupo recebeu garrafas representadas pela Figura 9 e um outro recebeu garrafas representadas pela Figura 10.



Figura 9 – Exemplo de garrafas distribuídas a um grupo (Elaborada pela autora)



Figura 10 - Exemplo de garrafas distribuídas a outro grupo (Elaborada pela autora)

Foi pedido para que os grupos marcassem o nível de água na folha distribuída e que despejassem metade do líquido de sua garrafa em outra fazendo também a marcação desta. Passados dez segundos (intervalo de tempo determinado pela professora), os alunos despejaram metade do líquido da segunda garrafa em uma terceira e marcaram o nível atingido. Por fim, novamente após dez segundos, os grupos despejaram metade do líquido da terceira na quarta e última garrafa e também marcaram o nível na folha. Cada grupo fez um gráfico na própria folha com as marcas registradas e mostrou sua folha ao restante da turma para a comparação dos resultados encontrados. Fotos e análises dessa prática serão mostradas no próximo capítulo.

Na última etapa desta aula, definiu-se tradicionalmente o processo de fissão nuclear com o auxílio da Figura 11, na qual o núcleo ^{235}U é alvo de um nêutron térmico

e em seguida o absorve. Surge, momentaneamente, o ^{236}U que logo se rompe gerando ^{141}Ba , ^{92}Kr , três nêutrons e alta energia.

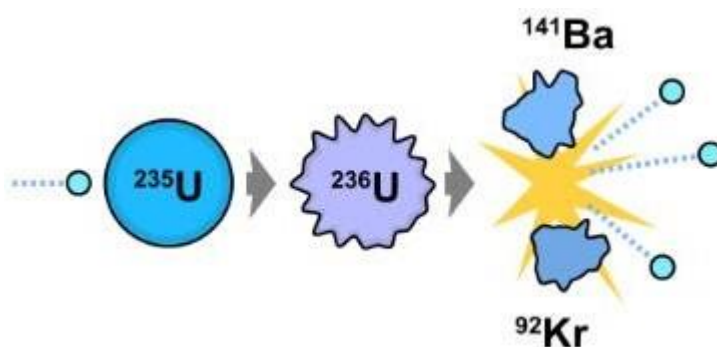


Figura 11 – Fissão Nuclear. Fonte: Centrais elétricas, 2011.

Foi informado à classe que, apesar da fissão ser grande geradora de energia, uma única fissão não é suficiente para gerar a energia elétrica de uma usina nuclear.

Logo após a explicação sobre fissão nuclear, foi deslocado uma mesa de aluno que estava vazia para frente da turma e colocado sobre ela as peças de um jogo de dominó. Perguntei a eles como eles fariam para derrubar todas as peças do dominó através de um único peteleco. Um aluno propôs que deveria se posicionar as peças uma atrás da outra, conforme mostra a Figura 12.



Figura 12 – Maneira proposta por alguns alunos (MODESTO, 2016).

Confirmei que desta forma ele conseguiria sim derrubar todas as peças através de um único peteleco. Entretanto, dessa maneira, as peças cairiam uma de cada vez. Informei para a classe que havia uma maneira de derrubar todas as peças mais rapidamente, ou seja, o número de peças derrubadas crescia no desenvolver da reação.

Alguns alunos começaram a discutir entre si a solução para o problema. Após alguns segundos, começaram a descrever uma maneira que eles achavam que daria certo. Houve dificuldades de conseguir compreender a descrição deles. Eles pediram permissão para ir à mesa dispor as peças para demonstrar a tentativa deles. A Figura 13

registrou o momento em que eles organizam as peças demonstrando para toda a turma.



Figura 13 – Foto dos alunos dispoindo as peças de dominó (Elaborada pela autora)

A dispozição das peças depois de organizadas foi a da Figura 14:



Figura 14 – Peças de dominó dispostas (Elaborada pela autora)

Confirmei para eles que esta era a maneira prevista e foi perguntado como que eles sabiam que as peças deveriam ser dispostas assim. Um destes alunos respondeu que já tinha visto vídeos no youtube sobre quedas de dominós onde as pessoas conseguiam formar até desenhos com essas quedas.

Um desses alunos deu um peteleco na primeira peça (na Figura 15, a peça com o cinco e o zero) e demonstrou a reação. Após a queda das peças, as mesmas se encontraram da seguinte maneira:



Figura 15 – Peças de dominó derrubadas com o peteleco (Elaborada pela autora)

Destacou-se para a classe que se conseguiu derrubar todas as peças de dominó com apenas um único peteleco, ou seja, através de uma única ação executada em um elemento, alcançou-se o objetivo final, derrubar todas as peças. Se para a derrubada de todas as peças fosse necessário um peteleco em cada uma delas, o tempo para se alcançar o desejado seria muito maior.

Foi explicado oralmente para toda a turma que a atividade foi realizada por se tratar de uma analogia ao processo de geração de energia dentro de um reator nuclear. Este processo é chamado reação em cadeia e é formado por uma sequência de fissões nucleares, nas quais os nêutrons gerados na fissão do núcleo radioativo causam a fissão de outros dois ou três átomos físséis que liberarão mais nêutrons e que serão projéteis de outros átomos físséis.

Como exemplo de uma reação em cadeia, citou-se novamente o ^{235}U através da Figura 16:

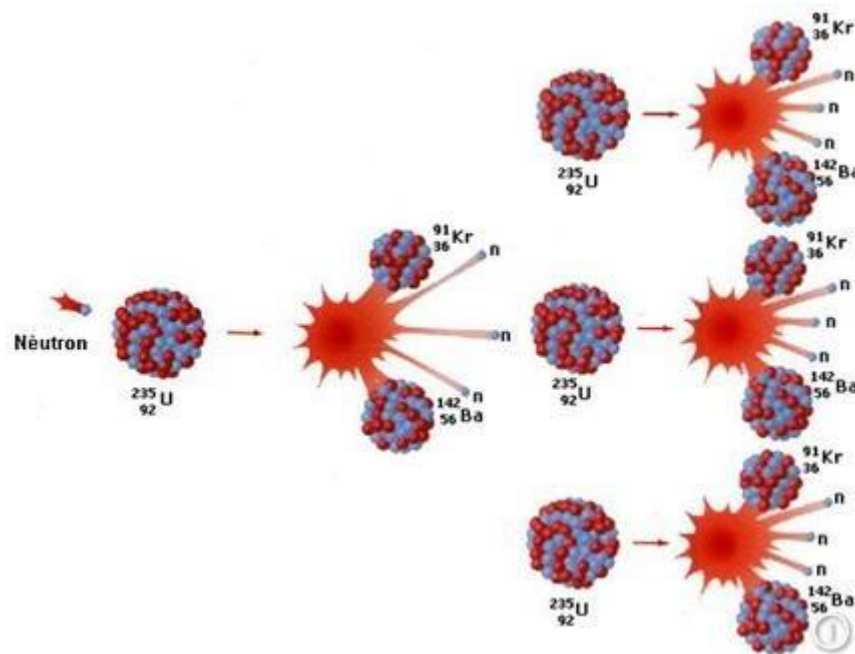


Figura 16 - Exemplo de reação em cadeia (FOGAÇA, 2016).

Com o conhecimento da classe sobre uma reação em cadeia e o Princípio da Conservação da Energia (desenvolvido em aulas anteriores de mecânica clássica), se tornou possível explicar o funcionamento básico de uma usina nuclear, informando também que o principal combustível das usinas é o ^{235}U encontrado em percentual pequeno no urânio presente em minerais.

Explicou-se oralmente as principais etapas do processo de produção de energia nuclear: a reação em cadeia da fissão nuclear gera energia, esta energia é transformada em energia térmica proporcionando a vaporização de certa quantidade de água que gera um vapor que faz girar uma turbina, cujo movimento, gera a energia elétrica.

Para tanto, foi projetada a Figura 11 do Apêndice A e foram explicadas oralmente as principais etapas do processo de produção de energia nas usinas nucleares. Nenhum aluno comentou sobre a explicação referente às etapas do processo de produção de energia nuclear.

Para a finalização da aula, foi proposto que cada aluno respondesse, individualmente, as perguntas das terceira, quarta e quinta etapas do Apêndice C. As respostas foram entregues na aula seguinte para a professora da turma que disponibilizou o material para a análise da atividade.

Devido aos motivos já comentados no início do capítulo, não foi possível trabalhar em sala de aula nenhum assunto referente à quinta etapa da proposta. Caso houvesse a disponibilidade de pelo menos mais uma aula de dois tempos, seria possível trabalhar com a turma questões como: o descarte do lixo radioativo, a necessidade de segurança e monitoramento em todo o processo produtivo e o nível de contribuição para a poluição mundial.

A questão sobre o lixo radioativo foi somente tratada nas atividades propostas para casa. Conseqüentemente, além de não se garantir que todos os alunos a fizessem, não houve oportunidade de discuti-la.

Através da tabela 1 (ver Apêndice B), poderia ser lembrado também a conclusão de que não há o melhor modo de produção de energia e que, por este motivo, o homem ainda continua pesquisando outras maneiras de se gerar energia elétrica. Desta forma, a fusão nuclear poderia ser apresentada como uma expectativa futura de uma possível contribuinte energética para a sociedade.

4.2 Dados da aplicação

A seguir, são divulgados os dados das duas aulas aplicadas descritas na seção anterior. Os dados foram obtidos através de fotos, das respostas dos alunos e de relatos ocorridos na aula.

4.2.1 Primeira aula

Lembra-se que a turma foi dividida em grupos e que cada um recebeu uma pergunta referente ao texto que estava sendo discutido. Um representante de cada grupo leu para o restante da turma sua pergunta e a resposta elaborada pelo seu grupo, respeitando a ordem numérica das perguntas.

Através da resposta da primeira pergunta, a turma foi informada de que a água é utilizada na produção de energia nas usinas hidrelétricas. Com a resposta da segunda pergunta, também se relacionou a necessidade do uso das termoeletricas devido à falta de água, ou seja, diminuição da produtividade das usinas hidrelétricas. Já a terceira pergunta permitiu perceber que o custo da produção de energia através das termoeletricas é alto, sendo este o motivo da preocupação de se mantê-la funcionando por muito tempo.

Portanto, o debate das três primeiras perguntas propiciou à turma o recebimento de informações sobre as necessidades de instalação das duas usinas, o custo de produção, a maneira como é gerada a energia elétrica e os malefícios e benefícios de cada uma.

Devido às porcentagens mencionadas na quarta pergunta, ficou evidente que existem outros modos de geração de energia. Após todas as conclusões obtidas no parágrafo anterior, o quarto e último grupo falou para toda a turma sua resposta, citando assim outras modalidades de produção energética.

A tabela 1 contém as perguntas e as respectivas respostas elaboradas pelos alunos.

	Pergunta	Resposta
Grupo 1	Qual a relação entre a falta de chuva e a preocupação	Com esses problemas de não chover, faz com que

	sobre a escassez de fornecimento de energia elétrica?	além de ficarmos sem água, ficaremos também sem energia. Pois pela água conseguimos nossa energia elétrica.
Grupo 2	Qual a relação entre o uso das termoeletricas e a falta de chuva?	Porque sem a chuva não é possível abastecer as represas que fazem as usinas gerar energia para distribuir no país.
Grupo 3	Explique o motivo da preocupação em se manter as termoeletricas funcionando por muito tempo.	Porque a energia das termoeletricas é mais cara do que as hidrelétricas.
Grupo 4	Segundo a matéria, em 2013, 70% do abastecimento de energia elétrica brasileiro era fornecido pelas hidrelétricas, enquanto 18,31% era proveniente das termoeletricas. Os dados nos permitem concluir que há outros modos de produção de energia. Você conseguiria citar outros?	Energia solar, energia eólica, energia nuclear, energia mecânica, energia térmica, etc.

Tabela 1 – Perguntas e respostas do texto

Percebe-se que as respostas das três primeiras perguntas estão contidas no texto. Logo, é provável que os grupos que receberam estas perguntas tenham conseguido elaborar as respostas devido ao estudo da matéria. Foi decidido fazer tais perguntas porque as mesmas organizariam a interpretação do texto ajudando a alcançar a conclusão almejada (a relação entre o aumento da conta de luz devido à falta de água).

Ao longo do debate que se originou devido à exposição destas respostas, percebi que nem todos os alunos sabiam da existência dos dois tipos de usinas e muito menos dos consequentes impactos na sociedade devido à utilização de ambas. Isto pode ser percebido porque poucos alunos souberam mencionar características básicas sobre as duas.

Sobre as usinas termoeletricas, apenas cinco alunos sabiam, por exemplo, que estas são estabelecimentos que geram energia elétrica para o consumo da sociedade e nenhum aluno sabia que as mesmas são grandes contribuintes para a poluição mundial.

Já sobre as usinas hidrelétricas, a maioria as reconhecia como uma modalidade de geração de energia e sabia que se tratavam de grandes represas. Alguns alunos justificaram este conhecimento devido à divulgações da mídia como, por exemplo, a novela “Coração de Estudante”.

Portanto, as informações sobre as localizações das usinas, as necessidades básicas de implementação, a forma como é gerada a energia e as consequências para a sociedade da utilização de cada uma foram essenciais para o desenvolvimento da aula.

Já na última pergunta os alunos mencionaram realmente sobre outros modos de geração que eram de conhecimento deles. Pode-se perceber que foram citadas modalidades bastante comentadas pela mídia como a energia solar, eólica e nuclear. Provavelmente a energia mecânica e a térmica foram citadas porque algum componente do grupo já tinha ouvido tal termo, mostrando que estes estudantes não faziam ideia do que fossem estas duas energias. As modalidades da resposta do grupo que deveriam ser consideradas foram confirmadas com a projeção da Matriz Energética Brasileira de 2013.

Por se projetar as Matrizes Energéticas dos anos adjacentes a 2013, a turma não teve dificuldade em perceber a relação entre o aumento do percentual das usinas termoelétricas com a diminuição do percentual das hidrelétricas.

Considerando as modalidades de produção de energia elétrica discutidas, foram explicitadas à turma as vantagens e desvantagens que estão no Apêndice A. Nenhum aluno tinha sequer “ouvido falar” sobre a energia por Biomassa e, conseqüentemente, não sabiam avaliar a utilização desta energia. Já as energias eólica e solar eram conhecidas de quase toda a classe. Os alunos só não sabiam sobre as vantagens e desvantagens das duas modalidades. Inclusive, se mostraram bastante interessados em conhecer as desvantagens já que, para eles, aparentemente, não haviam desvantagens.

Perguntei à eles se alguém já tinha visto uma torre de energia eólica e, se tinha, em qual local. Alguns responderam que já tinham visto, através da televisão, no litoral nordestino. A maioria dos alunos já tinha visto um painel solar. Alguns se lembraram de já ter visto, em jornais ou na televisão, e outros se lembraram da presença deles em postes de iluminação pública. Para eles, a energia solar não tinha desvantagem e se questionaram logo sobre o motivo das pessoas não instalarem painéis em suas residências. A reação deles quanto à energia solar era de que esta era a “solução para o problema”

O último modo de produção energético colocado em debate foi a energia nuclear. Quando se perguntou se alguém sabia algo sobre as usinas nucleares a maioria dos alunos se mostrou receosa por se tratar de algo perigoso. Alguns alunos falaram que era perigoso porque poderia explodir a cidade e outros disseram que poderia causar câncer nas pessoas que trabalham na usina e nos moradores próximos à usina. Muitos disseram que sabiam da localização da usina em Angra dos Reis. Como exemplos do perigo de se utilizar esta tecnologia, os estudantes citaram a bomba atômica e o acidente

de nuclear de Fukushima, em 2011.

Apesar do medo e receio da energia nuclear, percebi que a maioria da turma se mostrou extremamente interessada em saber mais sobre o assunto. Eles queriam se informar sobre o que aconteceria com as pessoas se houvesse um acidente na usina de Angra, se o local voltaria a ser habitado, por quanto tempo a radiação continuaria ali, quais eram os verdadeiros riscos de se usar a energia nuclear...

Foi informado à turma que o principal malefício deste modo de produção é o descarte do lixo radioativo. Entretanto, acrescentei que para que eles conseguissem compreender os problemas referentes ao lixo, era necessário estudar alguns tópicos da Física Nuclear. Desta maneira, ficou justificado o tema da aula seguinte finalizando assim esta primeira aula.

De todas as modalidades discutidas em sala, as que despertaram maior interesse dos alunos foram as eólica, solar e nuclear. Isto se deu porque os estudantes já tinham opiniões e concepções sobre cada uma delas. Portanto, o debate feito na sala de aula acabou acrescentando informações a eles ou desmistificando opiniões que os mesmos tinham sobre o assunto.

É importante destacar também que a participação dos alunos foi crescente durante a aula. As aulas de Física desta turma eram ministradas por outra professora, portanto, a turma não me conhecia. Os estudantes passaram a se sentir com mais liberdade para se expressar a partir da exposição das respostas do grupo. Foi notório também que conforme o nível de interesse dos alunos sobre a aula amentava, crescia também a participação destes através de perguntas e comentários.

4.2.2 Segunda aula

A segunda aula se inicia objetivando concluir, através de uma discussão oral entre a professora e a turma, sobre a força nuclear atômica e conseqüentemente a instabilidade nuclear.

É provável que estes diálogos tenham surgido devido à interação professor-aluno que ocorreu na primeira aula. Ao decorrer da primeira aula, a participação dos estudantes foi crescente. Portanto, na segunda aula eles se sentiram mais à vontade para sugerir hipóteses e expor suas dúvidas. É importante informar também que os alunos que mais participaram oralmente da segunda aula, foram os mesmos que tiveram participação expressiva na primeira.

O segundo passo foi a definição dos decaimentos radioativos através de equações escritas no quadro acrescidas das principais características de cada decaimento. Durante a definição, não houve participação de nenhum aluno. Os mesmos não contestaram nada do que foi dito, não fizeram perguntas nem sugestões. Eles apenas ouviram passivamente as definições ditas na aula.

A seguir definiu-se tradicionalmente o tempo de meia-vida e deu-se início à atividade que utiliza as garrafas. A reação da classe durante a definição do tempo de meia-vida foi praticamente a mesma reação dos decaimentos. A atuação dos estudantes passou a ser relevante apenas no início da atividade para o trabalho do tempo de meia-vida.

Quanto ao despejo da água nas garrafas marcando o nível da água na folha e respeitando o tempo determinado, nenhum grupo teve dúvidas em relação ao que deveria ser feito. A parte da atividade que gerou dúvida nos jovens foi a elaboração do gráfico com as marcas.

Teve um grupo que não sabia aonde colocar o eixo das abscissas e das ordenadas (este grupo ficou girando a folha para saber qual deveria ser o sentido do gráfico). Outro grupo ligou as marcas através de várias retas (como se fossem várias funções do primeiro grau no mesmo quadrante). Um terceiro grupo não sabia o que fazer e o último conseguiu marcar uma curva que ligasse os pontos, entretanto, identificou esta curva como uma parábola caracterizando assim uma função do segundo grau.

A relação de dependência (que define uma função) decrescente entre o nível das marcas das garrafas com o tempo de dez segundos foi destacada oralmente pela professora. Para a classificação da função como uma função exponencial, destacou-se também que se a prática fosse continuada com o aumento da quantidade de garrafas, as diferenças entre os níveis de água seriam cada vez menores o que geraria, visualmente, a impressão da estabilização do gráfico em um único ponto no eixo das ordenadas. Sendo assim, o eixo das abscissas nunca seria tocado, ou seja, o nível de água nunca seria zero.

As Figuras 17 a 19 foram tiradas para o registro da atividade. Este grupo foi escolhido para ser fotografado porque era o único em que todos os alunos tinham autorização de divulgação de imagem. Este grupo foi o grupo que conseguiu marcar a curva e a identificou como uma função do segundo grau.



Figura 17 – Alunos marcando os níveis das garrafas (Elaborada pela autora)

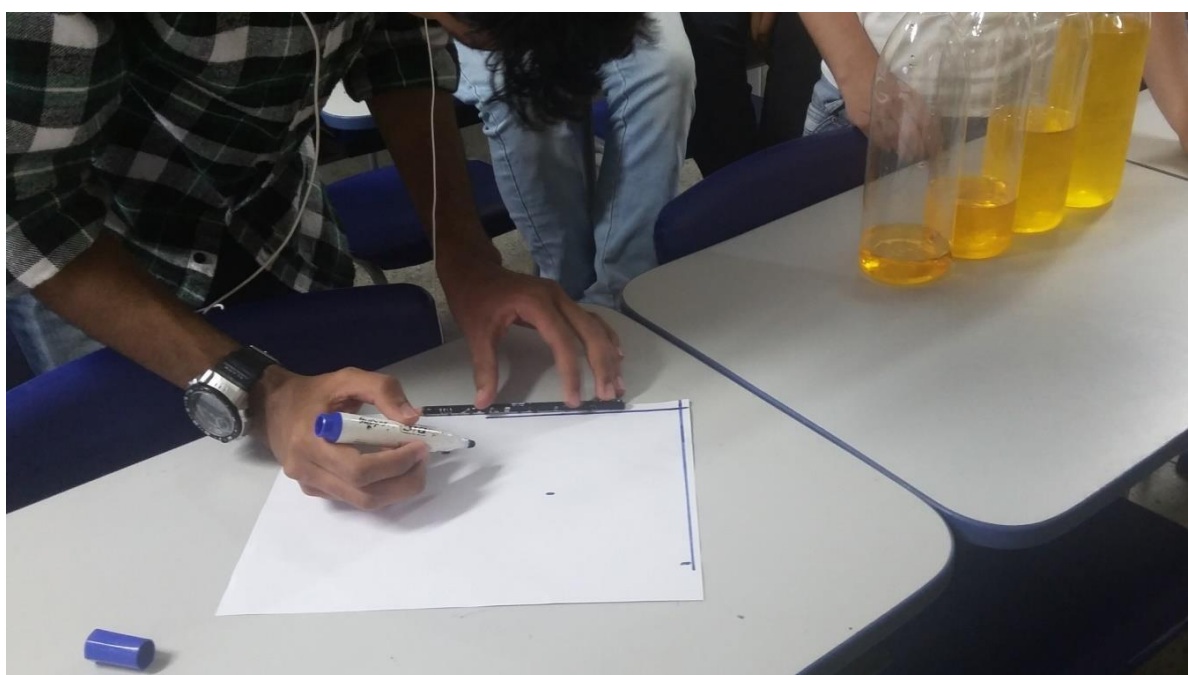


Figura 18 – Alunos montando o gráfico (Elaborada pela autora)

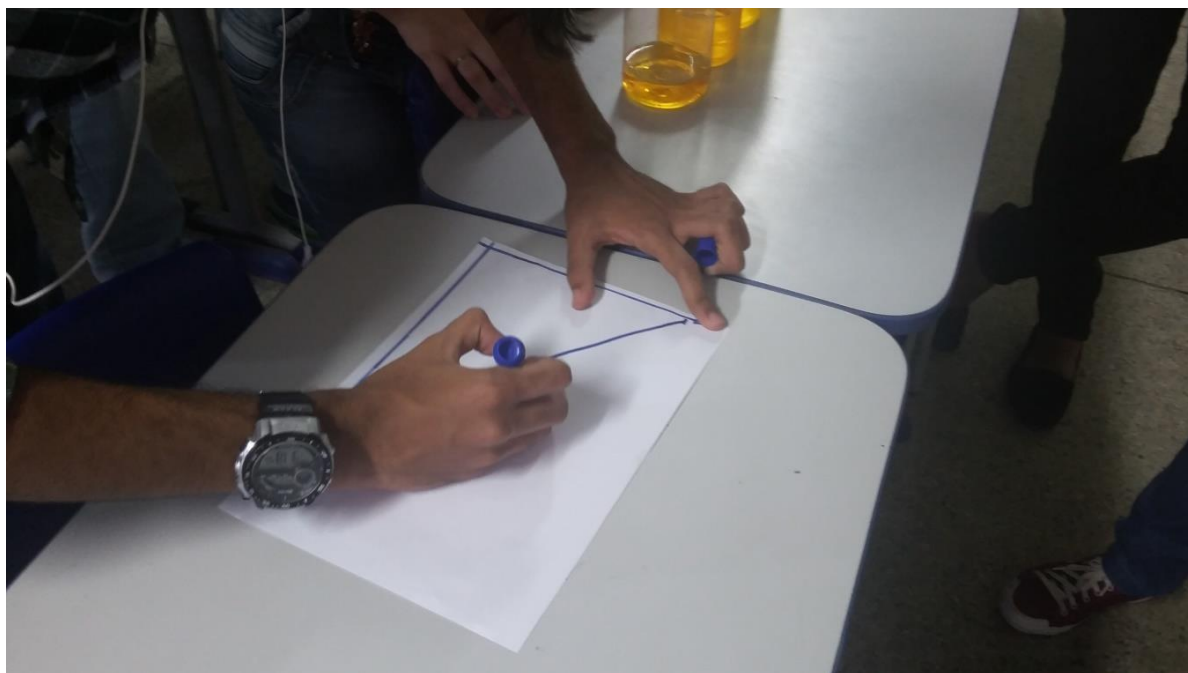


Figura 19 – Alunos traçando o gráfico (Elaborada pela autora)

Depois de todos os grupos terem feito seus gráficos corretamente, um representante de cada foi à frente da turma e mostrou o gráfico encontrado. Alguns alunos se espantaram ao perceber que o gráfico de todos apresentava a mesma curva, mesmo sendo as garrafas de cada grupo de tamanhos e formatos diferentes. Outros já acharam que os gráficos não eram iguais porque um era mais “curvo” que o outro. Um aluno percebeu que a curvatura dos gráficos apresentava diferença devido às alturas das garrafas utilizadas serem diferentes.

Foi destacado que a relação encontrada por eles caracterizava uma função exponencial. Como averiguação desta afirmação, foi enfatizado que se eles tivessem mais garrafas e continuassem a fazer outras marcas baseados na mesma prática, a diferença entre os níveis de água seria cada vez menor e geraria a impressão de que o gráfico se estabilizou no eixo das ordenadas. Analisando matematicamente, o gráfico nunca tocaria o eixo das abscissas, ou seja, o nível de água nunca seria zero.

A turma, no geral, apresentou muita dificuldade na marcação do gráfico e na sua interpretação também. Os alunos conseguiram entender que o nível de água nunca seria zero porque não teria como a água “sumir”. Eles perceberam que por mais que se divida a água em duas partes infinitas vezes, sempre haverá metade do que foi dividido. A dificuldade foi perceber que a curva era uma função exponencial. Por mais que este assunto tenha sido estudado pela turma na primeira série do Ensino Médio nas aulas de Matemática (informação confirmada pela professora deles de Matemática), eles não se lembravam das características deste tipo de função. Segundo eles, este assunto foi abordado com ênfase em propriedades matemáticas e em substituição de fórmulas.

Muito tempo da aula foi utilizado à execução dessa atividade. Foi necessário ao fim da prática lembrá-los de que a atividade estava sendo realizada objetivando que os

mesmos, por meio desta analogia, conseguissem compreender mais facilmente o conceito de meia-vida e que este conceito era fundamental pelas diversas aplicações que foram citadas na definição do mesmo.

Neste momento, os alunos foram lembrados de que o motivo de estar se abordando assuntos da Física Nuclear era que eles apreendessem alguns fenômenos nucleares que os permitissem analisar as consequências sociais da produção de energia por este meio.

Os tópicos trabalhados a seguir nesta segunda aula foram a fissão nuclear e a reação em cadeia. Na atividade que se utilizou o dominó, somente os alunos que já vinham participando dos debates desde o início da aula tentaram resolver o problema proposto. Nenhum aluno acrescentou nada na explicação do reator nuclear.

A participação dos alunos, considerando os questionamentos e debates surgidos em sala de aula, foi decrescente. Ao longo da aula foram surgindo conversas paralelas entre os alunos sobre assuntos que não condiziam com a aula. Devido a estes fatores, foi notório a necessidade de se distribuir os tópicos contidos nessa aula em mais encontros. Ficou nítido que a aula abordou muitos conceitos.

Três alunos entregaram as respostas. É interessante destacar que estes alunos foram os mesmos que participaram ativamente da aula. Outra questão que deve ser comentada é que não foi oferecido pontuação aos alunos que entregassem as questões. Acredita-se que, no caso contrário, a quantidade de alunos que responderia as perguntas seria maior, já que a participação de alunos nas aulas ainda estava muito vinculada à promessa de benefícios que contribuam para a aprovação do ano letivo.

A Tabela 2 disponibiliza as respostas dos três estudantes.

	Resposta da terceira etapa da proposta	Resposta da quarta etapa da proposta	Resposta da quinta etapa da proposta
Aluno 1	“Para mim fica impossível saber porque não sei a quantidade de alunos que vão participar da aula.”	“Um exemplo de reação em cadeia é o desemprego que a gente vive no Brasil. Por causa da falência da Petrobrás muitos trabalhadores ficaram desempregados e deixaram de comprar e isso provocou também que os trabalhadores dessas lojas fossem demetidos...”	“Acredito que no lixo radioativo tenha elementos químicos com o tempo de meia-vida grande e por causa disso esses elementos demorem muito para diminuir.”
Aluno 2	“Para saber em	“Uma reação em	“O tempo de meia-

	quantos pedaços a professora vai ter que dividir o algodão tenho que saber quantos alunos tem.”	cadeia é a relação entre os animais porque se uma espécie morre, a outra também acaba morrendo por falta de alimento.”	vida do lixo deve ser grande e por causa disso ele fica muito tempo emitindo radiação sendo perigoso para as pessoas.”
Aluno 3	O ALUNO NÃO RESPONDEU.	“Um acidente de carro provocado porque o motorista bateu no carro da frente. Se os motoristas dos carros de trás deste carro também não estiverem prestando atenção nos carros da frente todos baterão.”	“Os elementos que são usados nas usinas nucleares têm tempo de meia-vida grande gerando assim um lixo que demora muito tempo para acabar.”

Tabela 2 – Respostas dos alunos

A primeira pergunta foi feita para verificar se os alunos conseguiam aplicar o conceito de tempo de meia-vida em outra situação além de nos elementos radioativos. Nenhum dos três alunos que responderam conseguiu formular a resposta relacionando a oferta do algodão com a teoria estudada. Através deste resultado, verificou-se que os estudantes não conseguiram perceber que na divisão de algo sempre se originará um produto, ou seja, independente da quantidade de vezes que se divida o produto nunca acabará.

A segunda pergunta se resumiu ao pedido de um exemplo de reação em cadeia almejando checar dessa forma se os estudantes entenderam de fato a interação que dá surgimento à grande energia dentro de um reator nuclear. Pode-se perceber que as três respostas citam situações presentes no cotidiano e que são desencadeadas por uma relação de dependência entre seus componentes. A resposta do aluno 1 considera o contexto político e social vivido pelo aluno na época, a resposta do aluno 2 cita um exemplo que provavelmente o mesmo já tenha estudado em aulas de ciências e Biologia enquanto a resposta do aluno 3 cita um exemplo que o mesmo já vivenciou ou presenciou em acidentes de trânsito.

A última pergunta foi proposta para se verificar se os alunos conseguiriam, mesmo não se explicitando diretamente o assunto na aula, relacionar o problema do lixo radiativo com o tempo de meia-vida. Foi interessante perceber que os três fizeram de alguma forma a relação correta. Não se pode garantir que os jovens não pesquisaram para responder a pergunta em fontes seguras, como por exemplo a Internet. Mas, mesmo que o tenham feito, já é válido para que saibam um pouco sobre o assunto, suprindo assim um pouco da falta da abordagem na aula.

5 Considerações finais

A proposta didática recomenda que a aplicação seja realizada em cinco etapas. A aplicação feita contou apenas com duas etapas. Ficou notório que o curto tempo para a realização das atividades atrapalhou muito o desenvolvimento do trabalho.

Devido à escassez do tempo, a segunda aula ficou com excesso de conteúdo, dificultando muito a assimilação e diminuindo também o interesse dos alunos. A participação dos estudantes foi decrescente no decorrer da aula. Algumas partes da aula, foram embasadas nas discussões que surgiram na sala. Almejava-se que alguns conceitos fossem concluídos através de discussões, perguntas, raciocínios. Entretanto, como pode-se esperar que o aluno ainda consiga propor soluções ou questionar algo se muito já lhe foi questionado?

No início da segunda aula, quando se concluiu sobre a força e a instabilidade nuclear, a participação da turma ainda era expressiva. Os dois maiores motivos que justificam este fato são: o grande interesse dos mesmos no final da primeira aula e esta ter sido a primeira discussão naquele encontro. Os jovens ficaram curiosos sobre o que seria mostrado na segunda aula porque queriam compreender mais sobre os riscos da energia nuclear desmistificando, talvez, algumas concepções prévias. E como também aquele era o primeiro questionamento, ficou mais fácil analisar e pensar sobre ele.

Todavia, o mesmo não ocorreu, por exemplo, na atividade sobre a reação em cadeia que utilizou o dominó. Nesta etapa da aula, os alunos já haviam pensado demais em outras questões e pareciam já estar cansados. Isso foi percebido na diminuição da participação dos mesmos e nas conversas paralelas que surgiram na sala de aula.

Não se pode esquecer também que os assuntos referentes à quinta etapa da proposta didática sequer foram comentados. O tempo não permitiu que eles fossem trabalhados. Esta etapa contém assuntos que os alunos tinham muito interesse como, por exemplo, o lixo radioativo e o grau de segurança de uma usina nuclear. Além disso, estes assuntos foram abordados apenas nas questões propostas para casa, sendo assim nenhuma garantia que os estudantes pesquisassem sobre.

Iniciar a aula dividindo a turma em grupos e pedindo que cada um expusesse sua resposta, permitiu uma interação maior entre o professor e a turma. Não foi exigido que as respostas estivessem corretas. Isso permitiu que os alunos não tivessem receio ao expor sua opinião. Desta maneira, se tornou mais fácil a participação deles nas tarefas da segunda aula.

Em relação à maneira como os tópicos foram propostos, é interessante destacar que nos momentos em que se pediu maior participação ativa dos alunos o interesse foi maior. Percebeu-se que propor atividades diferentes como a atividade do tempo de meia-vida e da fissão nuclear, além de facilitar a compreensão dos alunos por se tratarem de analogias ou concretizações do tema, despertam mais o interesse deles do que simplesmente definir tradicionalmente um assunto.

Os tópicos da Física Nuclear escolhidos para serem trabalhados na proposta didática foram sim de grande atração dos alunos. Entender esses tópicos é conseguir entender temas que os interessam como, por exemplo, a radiação que o corpo humano é submetido ao realizar alguns procedimentos médicos, o funcionamento básico de uma bomba atômica e uma das técnicas para se descobrir a idade de um fóssil.

Além de conhecer um pouco sobre todos os exemplos citados acima, ser capaz de compreender uma matéria de jornal sobre produção de energia elétrica é bastante motivador. Analisar, em específico, a produção de energia elétrica brasileira através das usinas nucleares, também é mais um fator motivante. Compreender um pouco mais sobre as modalidades de geração de energia elétrica que já estão em vigor no Brasil e também as promissoras, é permitir que estes jovens se sintam mais atuantes como cidadãos nas decisões políticas de seu país.

Portanto, a diminuição do interesse que foi expressa pelos alunos, não é devido ao tema e sim à maneira como o tema foi trabalhado. É necessário ter mais encontros com a turma para que o objetivo da proposta seja melhor alcançado.

Referências Bibliográficas

AIKENHEAD, G. S., What is STS science teaching?, 1994. In: SANTOS, W. L. P; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n.2, p. 1-23, dez. 2002.

ALVETTI, M. A. S., Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a Revista Ciência Hoje. Dissertação em Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, UFSC, 1999.

AULER, D. Interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade no Contexto da Formação de Professores de Ciências. Tese de Doutorado, CED/UFSC, Florianópolis, 2002.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Final 2013**. BRASÍLIA, 2013. Disponível em : <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2013&anoFimColeta=2012>>. Acesso em 02 abr. 2016.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Final 2014**. BRASÍLIA, 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2014&anoFimColeta=2013> >. Acesso em 02 abr. 2016.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Final 2015**. BRASÍLIA, 2015. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2015&anoFimColeta=2014> >. Acesso em 02 abr. 2016.

BERNARDO, J. R. R.; VIANNA, D. M. **Temas para o ensino de física com abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)**. Rio de Janeiro: Bookmakers, 2012.

BRASIL, **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias** (MEC, Brasília, 2008).

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, 1999**. Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/busca-geral/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>>. Acesso em 11 fev. 2016.

BRASIL, **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias. Ministério da Educação – Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Brasília, 2002.

BROCKINGTON, G. A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio, Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2005.

BYBEE, R. W. Science education and the science-technology-society (STS) theme. In: SANTOS, W. L. P; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 2, n.2, p. 1-23, dez. 2002.

CENTRAIS ELÉTRICAS, 2011. Disponível em:

<<http://rd9centraleletrica.webnode.pt/desenvolvimento/centrais-nucleares/como-funciona-uma-central-nuclear/>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

CRUZ, S. M. S., Aprendizagem Centrada em Eventos: Uma experiência com Enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino Fundamental. Tese de Doutorado, CED/UFSC, Florianópolis, 2001.

ELETROBRAS. **O acidente nuclear na central Fukushima Daiichi**. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Perguntasfrequentes/TemasgeraisoacidentenaCentraldeFukushima.aspx>> Acesso em 02 abr. 2016.

FOGAÇA, J. R. V. Mundo Educação. **Fissão Nuclear**. Disponível em: <

<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/fissao-nuclear.htm> > Acesso em 02 abr. 2016

FREIRE JR, O. David Bohm e a Controvérsia dos Quanta. Centro de Lógica e Epistemologia da Unicamp (CLE/UNICAMP). 1999.

KRASILCHIK, M., O professor e o currículo das ciências. In: SANTOS, W. L. P; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia - Sociedade)

no contexto da educação brasileira. **Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n.2, p. 1-23, dez. 2002.

LÓPEZ, J. L. L.; CERESO, J. A. L. Educación CTS em acción: enseñanza secundaria y universidad. In: SANTOS, W. L. P.; Contextualização no Ensino de Ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, vol. 1, 2007.

MODESTO, G. **Revelando a energia**. 2016. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAfXilAF/2-revelando-a-energia?part=5>>. Acesso em 10 mai. 2016.

MORTIMER, E. F.; SANTOS, W. L. P.; Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, vol. 2, número 2, 2002.

OGURI, V. A radioatividade e a origem do não determinismo na ciência. **Revista Eletrônica do Vestibular**, n 20, ago. 2014. Disponível em:<http://www.revista.vestibular.uerj.br/artigo/artigo.php?seq_artigo=33> Acesso em 02 abr. 2016.

PERUZZO, J. **Física e energia nuclear**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

SANTOS, M.E. A cidadania na Voz dos Manuais Escolares. **Livros Horizonte**, p.7, Lisboa, 2001.

SANTOS, W. L. P., Contextualização no Ensino de Ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, vol. 1, 2007.

SANTOS, W. L. P; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n.2, p. 1-23, dez. 2002.

SANTOS, W. L. P; SCHNETZLER, R. P. *Educação em Química: Compromisso com a Cidadania*. Ijuí, Editora da UNIJUÍ 2003.

SCHAPPO, M. G. Um modelo concreto para o estudo da estabilidade nuclear no Ensino Médio. **Física na Escola**. Santa Catarina, v. 11, n. 2, 2010.

SEEDUC. Secretaria Estadual de Educação / RJ. Currículo Mínimo 2012. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/seeduc/exibeconteudo?article-id=759820> . Acesso em 01 mar. 2017.

SOARES, A. A.; MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G. Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.2, n. 3, 2015.

SOUZA, E. O. R.; VIANNA, D. M. Usando física em quadrinhos para discutir a diferença entre inversão e reversão da imagem em um espelho plano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.31, n.3, p. 601 – 613, dez. 2014.

SOUZA, M. A. M; DANTAS, J. D. Fenomenologia nuclear: uma proposta conceitual para o Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Santa Catarina, v. 27, n. 1, p. 136-158, abr. 2010.

STANNARD, R. Modern Physics For The Young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990

TERRAZZAN, E e STRIEDER, D. M. Planejamentos Didáticos: Uma Agenda de Investigação para o Ensino de Física Moderna na Escola Média. *Atas do XII SNEF*, Jan. 1997.

VALÉRIO, M; BAZZO, W. **Revista Iberoamericana de Ciência, Tecnología, Sociedad e Innovación** 7, 2006. Disponível em: <<http://www.oei.es/revistactsi/numero7/articulo02b.htm>>. Acesso em: 24 mai. 2016.

VIEIRA, C. L. O centro de todas as coisas. Um século da descoberta do núcleo atômico. **Física na Escola**, v. 12, n. 2, 2011.

WILSON, B. Particle physics at A-level – a teacher’s viewpoint. 1992 In: BROCKINGTON, G. A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio, Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2005.

ZANETIC, J. Física Também é Cultura, Tese de doutorado, FEUSP, São Paulo, 1989.

