

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

JOSICARLOS PERON

**O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR E SUAS APLICAÇÕES NO CONTEXTO DA
SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA**

**PONTA GROSSA
2016**

JOSICARLOS PERON

**O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR E SUAS APLICAÇÕES NO CONTEXTO DA
SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade.

**PONTA GROSSA
2016**

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Peron, Josicarlos
P453 O ensino de física nuclear e suas
aplicações no contexto da sociedade
contemporânea/ Josicarlos Peron. Ponta
Grossa, 2016.
139f.

Dissertação (Mestrado Profissional em
Ensino de Física - Área de Concentração:
Física na Educação Básica), Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. André Vitor
Chaves de Andrade.

1.Física Nuclear. 2.Ensino Médio.
3.Movimento CTS. I.Andrade, André Vitor
Chaves de. II. Universidade Estadual de
Ponta Grossa. Mestrado Profissional em
Ensino de Física. III. T.

CDD: 530.07

TERMO DE APROVAÇÃO

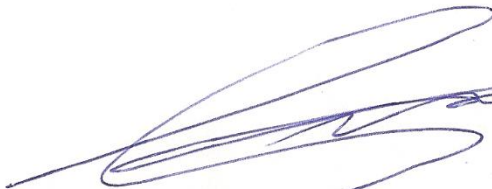
O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR E SUAS APLICAÇÕES NO CONTEXTO DA SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA

MESTRANDO: JOSICARLOS PERON

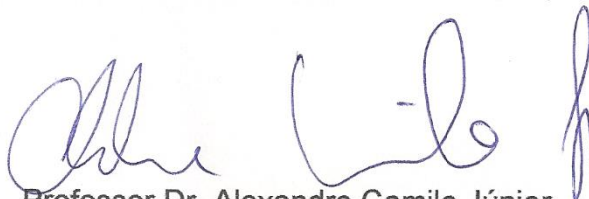
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Polo 35 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela seguinte banca examinadora:



Professor Dr. André Vitor Chaves de Andrade (orientador)
Departamento de Física – UEPG/PR



Professor Dr. Awdry Feisser Miquelin
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)



Professor Dr. Alexandre Camilo Júnior
Departamento de Física – UEPG/PR

Ponta Grossa, 23 de setembro de 2016

Dedico este trabalho à minha Família pela
compreensão e apoio durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade, pela contribuição de seus conhecimentos e sugestões na orientação deste trabalho.

A todos os professores do Programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pois foram importantes no meu período acadêmico.

Aos colegas do Mestrado pela convivência, apoio e pela contribuição para este trabalhos através de debates e críticas.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG pela acolhida.

À CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

Ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF pela oportunidade.

À Sociedade Brasileira de Física – SBF pelo respaldo ao programa.

Às minhas alunas da 4ª série do curso de Formação de Docentes, turma 2015, do Colégio Estadual Barão de Antonina de Rio Negro - PR, pela dedicação na realização das atividades propostas durante a aplicação do Produto Educacional.

RESUMO

O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR E SUAS APLICAÇÕES NO CONTEXTO DA SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA

Josicarlos Peron

Orientador:

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Ponta Grossa no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Devido ao avanço da Ciência Moderna, a sociedade encontra-se imersa em uma realidade de inovações tecnológicas. Desta forma, torna-se grande a importância do debate acerca da influência da Ciência e da Tecnologia sobre a vida da população. Sendo assim, optou-se por uma discussão relacionada a Física Nuclear e suas aplicações, uma vez que, acidentes nucleares, testes militares, melhorias nas técnicas de tratamento na área médica, tem ganho relativo destaque nestes últimos anos. Nesta realidade, o ambiente escolar desempenha um papel relevante na mediação do debate, uma vez que, é de competência da escola a formalização do conhecimento adquirido pelo estudante através, principalmente, do senso comum. A partir, então, da análise de diálogos com alguns professores de Física do Ensino Médio, de pesquisa realizada pela internet de programas e sugestões de abordagem de Física Nuclear no contexto escolar e dos livros didáticos adotados pelas Escolas Públicas do Estado do Paraná, distribuídos através do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), verificou-se que temas relacionados à Física Nuclear, apesar de sua abordagem ser considerada relevante por inúmeros professores, ela ainda ocorre de forma bastante restrita, principalmente por conta da complexidade no tratamento dos fenômenos, do extenso programa de Física em relação à carga horária, além de um despreparo por parte de professores, o que gera insegurança na abordagem de tais conteúdos. Desta forma, como parte integrante deste trabalho, foi desenvolvido um produto educacional, elaborado a partir de uma criteriosa transposição didática sobre tópicos de Física Nuclear, tendo como objetivo, auxiliar na formação do estudante, principalmente no que compete a um posicionamento crítico frente ao uso de energia de origem nuclear. O produto educacional propõe uma abordagem dentro de uma contextualização histórica, social, cultural e política, como propõe o movimento CTS, uma vez que, a Ciência é fruto de uma evolução humana, não podendo então ser neutra. A proposta foi aplicada em uma turma de Ensino Médio, do curso de Formação de Docentes da Educação Infantil e dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental, na modalidade Integrada, do Colégio Estadual Barão de Antonina, Rio Negro, Paraná, no período de novembro e dezembro de 2015.

Palavras-chave: Física Nuclear. Ensino Médio. Movimento CTS.

ABSTRACT

THE TEACHING OF NUCLEAR PHYSICS AND THEIR APPLICATIONS IN THE CONTEXT OF CONTEMPORARY SOCIETY

Josicarlos Peron

Academic advisor:

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Master's Dissertation submitted to the Graduate Program of the Ponta Grossa State University in the Professional Master's Course of Physics Teaching (MNPEF), as part of the requirements necessary to obtain the Master's degree in Physics Teaching.

Due to the advance of Modern Science, society is immersed in a reality of technological innovations. This way, the importance of the debate about the influence of Science and Technology on the life of the population becomes fundamental. Therefore, we chose a discussion related to Nuclear Physics and its applications, since, nuclear accidents, military tests, improvements in medical treatment techniques, has gained relative prominence in recent years. In this reality, the school environment plays a relevant role in the mediation of the debate, since it is the school's competence to formalize the knowledge acquired by the student through, mainly, common sense. Based on the analysis of dialogues with some professors of High School Physics, a research carried out on the internet of programs and suggestions to approach the Nuclear Physics in the school context and of the didactic books adopted by the Public Schools of the State of Paraná, distributed through the National Textbook Program (PNLD), it was verified that topics related to Nuclear Physics, although its approach is considered relevant by many teachers, still occurs in a very restricted way, mainly due to the complexity dealing with the phenomena, An extensive program of physics in relation to the workload, as well as a lack of preparation on the teacher's part, which generates insecurity in the approach of such contents. This way, as an integral part of this work, an educational product was developed, based on a careful didactic transposition on topics of Nuclear Physics, aiming at assisting student in training process, especially in what concerns a critical position against the use of nuclear energy. The educational product proposes an approach within a historical, social, cultural and political contextualization, as proposed by the CTS movement, since Science is the fruit of a human evolution, and can not be neutral. The proposal was applied in a high school class, in the Training Course of Early Childhood Teachers and Initial Years of Elementary School, in the Integrated modality, of the Barão de Antonina State College, Rio Negro, Paraná, from November to December 2015.

Keywords: Nuclear Physics. High school. CTS movement.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1 A IMPORTÂNCIA DA SOCIEDADE NO DEBATE SOBRE CIÊNCIA E TECNOLOGIA	12
1.1 A INFLUÊNCIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA SOCIEDADE MODERNA ...	12
1.2 CIÊNCIA E TECNOLOGIA COMO PRODUTO DA EVOLUÇÃO HUMANA	14
1.3 O ENSINO DE FÍSICA EM CONSONÂNCIA COM O MOVIMENTO CTS	16
2 A FÍSICA NUCLEAR NO ENSIO MÉDIO	19
2.1 A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR.....	20
2.2 A ABORDAGEM DA FÍSICA NUCLEAR NOS LIVROS DIDÁTICOS QUE FAZEM PARTE DO PROGRAMA NACIONAL DO LIVRO DIDÁTICO (PNLD)	23
2.2.1 Análise dos conteúdos de Física Nuclear disponível nos livros didáticos	23
3 PRODUTO EDUCACIONAL	38
3.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	38
3.1.1 Sequência das aulas	39
3.1.2 Conceituação Histórica e Científica.....	42
3.1.3 Simulação Computacional	43
3.1.4 Construção de Modelos.....	46
4 PRODUTO EDUCACIONAL: APLICAÇÃO E ANÁLISE.....	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE A – Registro fotográfico da atividade desenvolvida nas aulas 01 e 02	73
APÊNDICE B – Registro fotográfico da atividade desenvolvida na aula 05.....	75
APÊNDICE C – Registro fotográfico da atividade desenvolvida na aula 07.....	77
ANEXO – Produto Educacional – FÍSICA NUCLEAR E SOCIEDADE	80

INTRODUÇÃO

O ensino de Física em nível Médio tem sido objeto de constantes debates por diversos pesquisadores, tanto na área de educação como também da própria área, buscando-se soluções e opções para problemas que são históricos. Além disso, temas relacionados à Física Moderna e Contemporânea são raramente abordados neste nível de ensino. Dentre eles, encontra-se a Física Nuclear, sendo sua abordagem bastante significativa, pois, além de compreender um vasto campo de aplicações, existe ainda o receio da sociedade no que diz respeito ao uso de tecnologias relacionadas a ela, principalmente na geração de energia elétrica.

Desta forma, foi proposto no presente trabalho de pesquisa, uma análise da abordagem de tais conteúdos nas aulas de Física do Ensino Médio.

Para isto, foram utilizadas as seguintes ferramentas, separadas em quatro etapas:

- 1) Diálogo com professores do Ensino Médio das escolas Públicas da cidade de Rio Negro - PR e cidades adjacentes, quanto à abordagem de conteúdos de Física Nuclear em suas aulas.
- 2) Pesquisa junto à internet de programas, sequências didáticas e sugestões que abordem Física Nuclear no Ensino Médio.
- 3) Análise de quatro publicações de regiões e épocas distintas, sendo duas dissertações de mestrado e dois artigos onde discutem a inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Durante a pesquisa de publicações relacionadas ao nosso interesse, não foi localizada nenhuma que trate especificamente sobre a abordagem de Física Nuclear.
- 4) Análise criteriosa dos livros adotados nas Escolas Públicas do Estado do Paraná, distribuídos através do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

Analisando os dados obtidos nas etapas um e três, percebemos que, apesar de vários professores se mostrarem propensos a abordarem conteúdos de Física Nuclear, ela ainda ocorre de forma discreta, cujas justificativas se assemelham: conteúdos de difícil compreensão por parte dos alunos e até mesmo pelos próprios professores o que os deixa inseguros para tratarem deste assunto; Programa de Física do Ensino Médio excessivamente extenso, dificultando sua abordagem.

Na análise dos livros didáticos, foram verificadas inúmeras lacunas relacionadas à inserção de tais conteúdos. Em sua grande maioria, apresentam pouca ou nenhuma contextualização histórica, cultural e social, além disso, em vários exemplares a abordagem é extremamente reduzida.

A partir desta análise, e compreendendo a discussão sobre Tópicos de Física Nuclear como sendo relevantes no contexto escolar, propomos o desenvolvimento de um material didático na forma de produto educacional, sendo ele, parte integrante desta dissertação.

O desenvolvimento deste material seguiu alguns princípios básicos, que consideramos relevantes na formação do estudante.

Foi desenvolvido, seguindo uma contextualização histórica, política, cultural e social.

Para isso, foi realizado um trabalho de pesquisa, iniciando pela concepção de estrutura da matéria proposta pelos gregos antigos, avançando para a Idade Moderna, com a formalização das teorias atômicas e sua evolução, dos modelos atômicos de Dalton a Bohr.

Esta introdução serve de apoio para que o aluno tome conhecimento de que a ciência se constrói através de erros e acertos, estando em evolução constante.

A partir desta evolução, os estudos são direcionados a temas relacionados mais especificamente à Física Nuclear e à descoberta da radioatividade, sendo que esta segunda foi responsável pela descoberta do modelo atômico nuclear, sendo ela conhecida na época, porém não compreendida cientificamente.

Após isso, trata-se das pesquisas desenvolvidas por Becquerel e pelo casal Curie sobre os fenômenos da radioatividade, tema este considerado relevante precisamente por tais fenômenos estarem intimamente relacionados ao modelo atômico nuclear.

No que concerne fenômenos nucleares propriamente ditos, destacam-se os relacionados as reações nucleares de Fissão e Fusão Nucleares, além das reações em cadeia. Estes temas se mostram altamente significativos justamente por permearem o imaginário das pessoas. Informações, muitas delas disseminadas pelos meios de comunicação, são, preponderantemente retratadas de forma errônea e exagerada principalmente sob aspectos negativos do uso de energia de origem nuclear, especialmente em referência ao uso de reatores nucleares das usinas.

No produto educacional, abordam-se estes temas objetivando-se desenvolver no estudante uma consciência crítica a respeito do uso deste tipo de energia, para que seja capaz de decidir, através de uma habilidosa análise de prós e contras do seu uso, principalmente em reatores de usinas geradoras de energia elétrica, de acordo com o proposto pelo movimento CTS. No entanto, convém salientarmos que, no desenvolvimento do trabalho, procuramos nos manter de forma neutra, a fim de não influenciar na formação crítica do estudante quanto ao seu posicionamento relacionado ao tema. Apresentamos diversas possibilidades de discussões sempre com imparcialidade necessária para que a proposta atinja seus objetivos. Dentre as propostas de abordagem, incluem-se a participação ativa do estudante, desde a análise de texto, atividades práticas na elaboração de modelo atômico, além da utilização de simulações computacionais.

O presente trabalho segue a seguinte estrutura:

No primeiro capítulo é discutido o papel da Ciência e Tecnologia e a importância da participação da sociedade frente aos caminhos a serem trilhados, pois verificou-se o papel não neutro da ciência, o que influi diretamente sobre o cidadão. Desta forma, uma vez que a ciência é resultado de uma evolução humana, poderá ela se desvirtuar dos seus objetivos, que deveria ser o da busca pelo bem-estar e igualdade social. Diante deste debate surge, então, o movimento CTS.

O segundo capítulo trata, inicialmente, da importância do ensino de Física Nuclear na formação do estudante como um agente crítico e participativo na sociedade em que se insere. Ainda neste capítulo, é apresentada uma pesquisa entre as escolas públicas do Estado do Paraná em relação ao livro adotado por cada escola. A pesquisa foi realizada através da página da internet do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação do Governo Federal, órgão este responsável pela distribuição do livro pertencente ao Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). A partir do levantamento de dados sobre os livros, a análise ocorreu com objetivo exclusivamente relacionado aos conteúdos de Física Nuclear, sua contextualização histórica, além da construção científica dos fenômenos relacionados às reações nucleares.

O terceiro capítulo apresenta a sequência didática desenvolvida na aplicação do produto, local e turma em que foi testado, além das ferramentas pedagógicas que foram propostas para construção do conhecimento. As ferramentas adotadas foram a construção de modelo, o uso de simulador uma vez

que experiências de laboratório relacionados à Física Nuclear não são possíveis, além da conceituação histórica e científica.

O Quarto capítulo apresenta, de forma detalhada a proposta de aplicação do produto para cada aula, levando-se em consideração os objetivos e a concepção pedagógica a que se propõe o trabalho, além de uma análise da aplicação, realizada aula por aula. Convém destacarmos que a avaliação da aprendizagem ocorreu simultaneamente à aplicação do produto educacional, de forma diagnóstica qualitativamente através de observação atenta do processo quanto a participação, questionamentos, comentários realizados pelos alunos.

1 A IMPORTÂNCIA DA SOCIEDADE NO DEBATE SOBRE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

1.1 A INFLUÊNCIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA SOCIEDADE MODERNA

Desde os primórdios, o ser humano busca, em sua luta pela sobrevivência, desenvolver estratégias que lhe proporcionem, além de uma maior segurança, técnicas que lhe auxiliem na produção e coleta de alimentos, essenciais para sua existência.

Porém, com o desenvolvimento do pensamento científico, principalmente a partir do século XIX, outras prioridades passam a coexistir, como o desenvolvimento da medicina e a busca por novas tecnologias que lhe proporcione um maior conforto em sua vida diária.

A evolução da tecnologia, consequência esta do desenvolvimento da ciência, passa a ser visto como princípio básico para a evolução humana, sendo então, a evolução científica e tecnológica vista como solução para todos os problemas encontrados na vida diária. Seria, então, a partir dela que o ser humano seria capaz de suprir as necessidades a ele impostas.

Com a racionalidade crescente no século XIX, que atribuiu ao homem a tarefa de dominar/explorar a natureza, aliada ao também crescente processo de industrialização, o desenvolvimento centrado na ciência e tecnologia (C&T) passou a ser visto como sinônimo de progresso. [...] (ANGOTTI; AUTH, 2001, p. 15)

No entanto, a partir de diversos acontecimentos, como guerras, por exemplo, o papel da ciência e tecnologia, tida como essencial para o bem-estar das pessoas, passa a ser questionado.

[...] com as guerras mundiais, principalmente a segunda, este desenvolvimento passou a ser questionado. O arsenal de guerra, como as bombas nucleares, deixou bem explícito o poder destrutivo do homem. O que inicialmente parecia um bem inegável a todos, com o passar dos anos revelou outras facetas. À medida que o uso abusivo de aparatos tecnológicos tornava-se mais evidente, com os problemas ambientais cada vez mais visíveis, a tão aceita concepção exultante de C&T, com a finalidade de facilitar ao homem explorar a natureza para o seu bem-estar começou a ser questionada por muitos. (ANGOTTI; AUTH, 2001, p. 15)

Além do poder de destruição potencialmente grande, a degradação do meio ambiente torna-se também alvo de críticas ao desenvolvimento da ciência e tecnologia (C&T). Sobre isto, Auler e Bazzo (2001, p. 1) expõe que:

A partir de meados do século XX, nos países capitalistas centrais, foi crescendo o sentimento de que o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico não estava conduzindo, linear e automaticamente, ao desenvolvimento do bem-estar social. Após uma euforia inicial com os resultados do avanço científico e tecnológico, nas décadas de 1960 e 1970, a degradação ambiental, bem como a vinculação do desenvolvimento científico e tecnológico à guerra [...] fizeram com que a ciência e a tecnologia (C&T) se tornassem alvo de um olhar mais crítico.

Torna-se, então, cada vez mais incontestável a necessidade de uma discussão acerca dos caminhos a serem trilhados pelo desenvolvimento de C&T. Além de o progresso científico e tecnológico não atingir a sociedade como um todo, servindo apenas a uma pequena parcela desta sociedade, que se justifica sob o pretexto da neutralidade da ciência, aumentando, assim, as diferenças sociais e a exploração dos recursos naturais tomam caminhos cada vez mais preocupantes.

Tendo em vista então a influência do desenvolvimento da C&T na vida das pessoas, torna-se necessária a discussão a respeito deste tema e de como sua evolução e aplicação afeta a sociedade como um todo.

Por volta de meados da década de 60 do século passado, como resposta à insatisfação em relação à concepção tradicional da ciência e da tecnologia, aos problemas políticos e econômicos relacionados ao desenvolvimento científico e tecnológico e à degradação ambiental, surgem vários movimentos de reação acadêmica e social. Esses passaram a discutir, com diferentes enfoques, a relação da ciência e da tecnologia com a sociedade, reivindicando uma tomada de consciência com relação aos problemas ambientais, éticos e de qualidade de vida relacionados às mesmas. Alguns davam mais ênfase às implicações dos avanços da tecnologia na sociedade, outros, estavam mais preocupados com a natureza do conhecimento científico, defendendo, em seu discurso, que a ciência é carregada de valores, portanto não neutra. (GARCIA *et al.*, 1996 apud STRIEDER; KAWAMURA, 2009)

Outro ponto importante encontra-se no fato de a ciência estar, em parte, submissa ao desenvolvimento da tecnologia voltada ao lucro, sendo este mais importante que o próprio ser humano, tornando-nos, com isso uma sociedade mergulhada no consumismo. Para Angotti, Bastos e Mion (2001, p. 186), “[...] compramos influenciados pela propaganda ou por um possível *status* que a aquisição pode nos proporcionar, e não pela necessidade ou pela utilidade.”

Este consumo acrítico é chamado por Winner de “sonambulismo” (WINNER, 1987, p 26 apud ANGOTTI, BASTOS, MION, 2001, p. 186), cujo objetivo encontra-se no consumo alienado produzido pela propaganda midiática.

Tornar a ciência em algo que busca o bem-estar e a igualdade social, desvinculando-se dos objetivos voltados ao lucro, começa a ser pensado e defendido.

Uma visão crítica da ciência, expressa tanto por filósofos quanto por sociólogos, tem buscado desfazer o mito do cientificismo que ideologicamente ajudou a consolidar a submissão da ciência aos interesses de mercado, à busca do lucro. (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 115)

É nesse contexto então que, segundo Auler e Bazzo (2001, p. 1), ciência e tecnologia tornam-se objeto de debate político, aflorando o que será denominado de movimento CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade -, pois já não seria possível camuflar o caráter prejudicial que a C&T, da forma como evoluíra, teria sobre a sociedade. Além disso, desacreditou-se que ela seria capaz de resolver todos os problemas da sociedade. Dessa forma, faz-se necessário não mais apenas C&T mas outro tipo, onde faça com que a sociedade participe, pelo menos em parte, das discussões e decisões dos caminhos a serem trilhados pela C&T.

1.2 CIÊNCIA E TECNOLOGIA COMO PRODUTO DA EVOLUÇÃO HUMANA

Atualmente, as relações interpessoais da vida em sociedade não podem mais se restringir apenas às relações sociais as quais se insere. Torna-se essencial o estudo de como a ciência e a tecnologia afetam esta relação.

Se quisermos nos desenvolver, caminhando em direção a uma análise ou filosofia tecnológica crítica, é preciso superar a ideia convencional do que é tecnologia e do que ela significa. É fundamental questionar o “como a tecnologia afeta nossa vida?”. Nossos conceitos, ideias, relações sociais, limites morais e políticos tem sido reestruturados no curso do desenvolvimento tecnológico moderno. (ANGOTTI; BASTOS; MION, 2001, p. 185)

Percebe-se, com isso, que o caráter de neutralidade da ciência deixa de existir, uma vez que ela se encontra vinculada à produção tecnológica e esta tem por prioridade o lucro. Esta prioridade, como já comentado, afeta diretamente a vida

da população, uma vez que o estímulo ao consumo se encontra presente. Isto implica em um desenvolvimento científico e tecnológico não mais e apenas para o bem-estar social, mas principalmente a quem tem condições de adquiri-lo, aumentando, com isso as desigualdades sociais.

Entender como estes e outros fatores, como políticos e culturais também influenciam em C&T, faz com que o cidadão possa, de forma consciente, atuar no direcionamento que ela poderá tomar.

Em geral, a tecnologia é reduzida apenas ao seu aspecto técnico. A identificação dos aspectos organizacionais e culturais da tecnologia permite compreender como ela é dependente dos sistemas sócio-políticos e dos valores e das ideologias da cultura em que se insere. É com esse entendimento que o cidadão passa a perceber as interferências que a tecnologia tem em sua vida e como ele pode interferir nessa atividade. (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 118)

Porém, para a ação consciente da sociedade sobre os rumos do desenvolvimento científico e tecnológico, faz-se necessário que ela tenha acesso às informações sobre C&T, além de ser capaz de julgar como suas aplicações afetam o seu entorno. Questionar se torna cada vez mais necessário, uma vez que, o processo evolutivo da ciência e tecnologia repercutem diretamente em seu meio social. Indagações como, por exemplo, aos interesses de quem a C&T atendem? Da maioria da população ou das classes dominantes? Esta tomada de consciência transforma o cidadão, de um agente passivo, ao sujeito capaz de interagir e interferir no processo de evolução da C&T.

De acordo com Angotti e Auth (2001, p. 23)

O entendimento da dinâmica homem/ambiente pode ser explorado no processo didático-pedagógico em contraposição à “estaticidade” ainda predominante em grande parte dos sistemas de ensino. Uma vez que a escola tem um papel significativo na formação dos indivíduos, na sua cultura, nas suas relações sociais, ela necessita repensar seu papel.

Ainda sobre o papel formador da escola:

[...] conscientizar também é educar para a construção da cidadania. Isso também implica fornecer aos educandos a oportunidade de adquirir uma base sólida de conhecimentos que lhes propiciem conhecer a realidade em que vivem, propiciar a vivência de relações sociais mais democráticas, que antecipem uma ordem social mais coletiva, participativa, igualitária, a partir de uma ação individual e coletiva. Compreendemos que não são os discursos que formam a consciência política, mas a prática, ao dar sentido concreto a esses discursos. (ANGOTTI; BASTOS; MION, 2001, p. 190)

Compete, então, principalmente à escola, devido ao seu relevante papel na formação do estudante, abordar e debater questões relacionadas à Ciência, Tecnologia e Sociedade, auxiliando, com isso na formação de uma consciência crítica do futuro cidadão.

1.3 O ENSINO DE FÍSICA EM CONSONÂNCIA COM O MOVIMENTO CTS

A ciência está intimamente ligada à evolução do ser humano, sendo, ela própria, produto desta evolução, uma vez que sua construção ocorre através da ação humana. Sendo assim, é importante o debate no ambiente escolar sobre as consequências e os interesses, tanto políticos como econômicos que a evolução científica e tecnológica provoca.

Sendo assim, torna-se necessário que o cidadão compreenda o papel da evolução da C&T na sociedade, sendo capaz de refletir a respeito das limitações intrínsecas à evolução do conhecimento científico.

Caberá, então, à prática docente incitar o desenvolvimento de uma consciência crítico/reflexiva, uma vez que, o educador desempenha um papel de extrema relevância para a formação do estudante e futuro cidadão.

Entende-se, então, que a Física, tanto quanto as outras disciplinas, deve educar para a cidadania e isso se faz considerando a dimensão crítica do conhecimento científico sobre o Universo de fenômenos e a não-neutralidade da produção desse conhecimento, mas seu comprometimento e envolvimento com aspectos sociais, políticos, econômicos e culturais. (PARANÁ, 2008, p. 50)

Neste sentido, a formação para a cidadania é fundamental no contexto educacional, sendo as inovações tecnológicas relacionadas intimamente ao ensino de Física.

Com o movimento CTS, questões sociais não se limitam mais apenas às Ciências Humanas, mas coloca a discussão no foco das Ciências Naturais. Porém, para isso, tornam-se indispensáveis conhecimentos sobre História e Filosofia da Ciência.

No ensino de Ciências Naturais, a tendência conhecida desde os anos 80 como “Ciência, Tecnologia e Sociedade” (CTS), que já se esboçara anteriormente e que é importante até os dias de hoje, é uma resposta àquela problemática. [...] Especialmente a partir dos anos 80, o ensino das

Ciências Naturais se aproxima das Ciências Humanas e Sociais, reforçando a percepção da Ciência como construção humana, e não como “verdade natural”, e nova importância é atribuída à História e à Filosofia da Ciência no processo educacional. [...] (BRASIL, 1998, p. 20-21)

Porém, os programas que orientam ensino de ciências, em especial aqui, o ensino de Física, ainda em sua maioria, dão ênfase a uma abordagem não como construção contínua, mas como algo pronto, inquestionável, sem espaço para erros. Porém, como já discutido, a ciência, é produto direto da evolução humana e, como tal, sujeita a influências culturais, econômicas e políticas. Cabe, então, ao educador, a responsabilidade pela inserção de questões que suscitem a reflexão a cerca da evolução científica, contribuindo, desta forma, com a formação crítica do futuro cidadão.

No ensino de Física, por exemplo, por vezes esquecemo-nos da nossa responsabilidade na construção da cidadania dos envolvidos, ao priorizar os valores internos desta ciência, “acima de qualquer suspeita ou acontecimento”. Tal construção poderá ser mais tangível através da implementação de propostas epistemológicas e metodológicas reflexivas sobre objetos tecnológicos. [...] ensinar e aprender Física, é ao mesmo tempo adquirir conhecimentos científicos históricos e socialmente construídos, de modo a propiciar o entendimento de fenômenos da natureza bruta, bem como da transformada, com os quais interagimos diariamente. (ANGOTTI; BASTOS; MION. 2001, p. 185)

Assim, o estudante, ainda inserido no contexto escolar, será aquele que tomará as decisões de sua geração, o que muito provavelmente terá influência também nas gerações seguintes. Ele será um agente do mundo e para tal, ele próprio deve se ver desta forma. Porém, se ele não conhece o mundo que o cerca e, a própria ciência de que faz uso, quais serão suas ações no momento em que estas se fizerem necessárias?

Se o estudante se tornar um cidadão atuante na sociedade, é preciso ter consciência que suas ações serão resultado da sua compreensão de mundo, assim como sua relação com a ciência dependerá da sua compreensão desta. Não é necessário que ele se torne um cientista para reconhecer a importância do saber científico em sua vida, o necessário é que tenha capacidade para refletir como a ciência e a tecnologia influenciam sua vida.

Quando ele toma uma decisão simples do dia a dia, como por exemplo, escolher qual lâmpada comprar para o uso em sua residência, como fazer esta escolha? Por que comprar este ou aquele modelo? Que benefícios este modelo trará para mim? E para o restante da sociedade? Devo acreditar e concordar que esta é a melhor opção? Esta decisão, então, dependerá de quão profunda é sua

compreensão daquela realidade. Conhecer o funcionamento básico de uma lâmpada, por exemplo, o fará agir de forma crítica na escolha e não apenas por influência midiática.

Pode-se perceber, então, que a educação tecnológica não deve se limitar apenas a compreensão do funcionamento técnico dos dispositivos tecnológicos. É necessário avançar além da simples preparação para o uso deste ou aquele dispositivo. Na hipótese de ocorrer esta forma de limitação, o processo de dominação a partir dos ideais de lucro se tornam ainda mais significativo, sem trazer qualquer contribuição para a construção de um ambiente sustentável.

2 A FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO

A abordagem de conteúdos de Física, em sala de aula, ainda é, em sua maioria, desconectado da realidade. Com isso, o aluno não é capaz de perceber a relação entre o estudado em sala com sua vida cotidiana, deixando-o, assim, cada vez mais desinteressado pelo estudo de Ciências. No entanto, convém a menção de que, uma mudança está ocorrendo no ensino de Física, porém, ainda lenta, seja por conta de um currículo engessado, resistência de mudança por parte de professores ou mesmo na forma de abordagem dos conteúdos existentes nos livros didáticos adotados nas escolas.

O perfil do estudante tem sofrido mudança considerável ano a ano. O acesso à informação, ao uso de equipamentos tecnológicos está cada dia mais ao alcance do estudante. É imprescindível, então, que o ensino acompanhe esta mudança.

A Física possui uma maneira singular de descrever o mundo. O ferramental científico apresentado e utilizado por ela é poderoso, porém, é necessário que o educador tenha uma perspectiva mais ampla do papel social da escola, percebendo que a formação educacional deverá extrapolar os muros escolares, avançando para além da contemporaneidade.

[...] A educação deverá contribuir para a auto-formação do aluno, estimulando-o a assumir a condição humana, incentivando-o a viver de forma a se tornar um cidadão, que numa democracia, será definido por sua solidariedade e responsabilidade.[...] É preciso estimular o aluno a desenvolver a adaptabilidade e flexibilidade, formando-o como pessoa que tome decisões, avalie o papel das decisões humanas na determinação da sobrevivência e da vida na sociedade futura. [...] (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007, p.79)

Ainda sobre isso:

[...] o conhecimento da Física “em si mesmo” não basta como objetivo, mas deve ser entendido sobretudo como um meio, um instrumento para a compreensão do mundo, podendo ser prático, mas permitindo ultrapassar o interesse imediato. (BRASIL, 1999, p. 230)

É preciso, então, conceber um ensino de Física que promova um conhecimento que não se restrinja apenas ao espaço-tempo escolar, uma vez que ele deve contribuir para a formação do estudante e futuro cidadão, cercado por relações interpessoais, próprias do convívio em sociedade.

Desta forma, a abordagem de conteúdos de Física no contexto escolar, não deve ficar restrito apenas ao tratamento de fenômenos explicados pela Física Clássica, apesar de sua relevância, mas deve também, contemplar Tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), uma vez que o estudante se encontra inserido em uma sociedade rodeada por dispositivos cujo funcionamento se fundamenta em conceitos e leis explicadas pela FMC.

Dentre os conteúdos de FMC que podem ser abordados em sala de aula, estão os relacionados à Física Nuclear. Porém, algumas questões necessitam ser respondidas como: Por que abordar conteúdos de Física Nuclear na escola é importante? Quais os métodos que poderão ser adotados para um resultado mais eficaz na compreensão de tais conteúdos? O programa do Ensino Médio contempla tal área? Como os conteúdos são tratados nos livros didáticos? Além destas, outra questão não menos importante é quanto à formação do professor para abordar tais conteúdos.

2.1 A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR

De acordo com o movimento CTS, o conhecimento tratado em sala não deve se restringir apenas a uma repetição de conteúdos que acabam por tolher a liberdade e possibilidade do debate, deixando, com isso, incompleta a formação do estudante, uma vez que ele terá pouca ou nenhuma participação na construção de seu conhecimento. Além disso, outro fato importante encontra-se justamente na construção de uma consciência crítica, formando, assim, um futuro cidadão capaz de interagir com o mundo que o cerca, uma vez que o papel da escola consiste em uma formação que preze pela participação ativa do estudante na sociedade em que está inserido.

Com a prática pedagógica defendida aqui, temas relacionados à Física Nuclear podem se tornar, além de relevantes, interessantes, sob a perspectiva tanto do estudante, como do educador.

Nestes últimos anos, acontecimentos envolvendo Física Nuclear, como por exemplo, acidentes em usinas nucleares e testes com armamento nuclear, tem suscitado a curiosidade de muitos a respeito do funcionamento de tais dispositivos. Além de questões de âmbito científico, as relacionadas a assuntos econômicos,

políticos e sociais foram retomadas com maior intensidade, o que não ocorria neste grau desde o fim da Guerra Fria.

Com uma abordagem de acordo com o movimento de Ciência, Tecnologia e Sociedade, é possível trazer para o ambiente de sala de aula discussões sobre as questões relacionadas acima e, diversos são os conteúdos de Física Nuclear que podem ser abordados no contexto escolar, como aplicações militares, na medicina, na geração de energia elétrica, sendo estes alguns exemplos.

Debater sobre temas como o uso de energia nuclear para fins militares, ou mesmo pacíficos, dará condições para que o aluno construa uma opinião crítica a respeito de tais usos.

Ocorrem, ocasionalmente, em sala de aula, perguntas como o porquê de usar usinas nucleares se estas têm um alto grau de periculosidade, principalmente no que se refere a acidentes nucleares, trazendo com isso grandes danos para o ambiente e as comunidades próximas? O que fazer com o resíduo radioativo? Ou ainda questões de por que se investir altas cifras no desenvolvimento de métodos de enriquecimento de Urânio se isto servirá para construir bombas?

Estas e outras questões que surgem em sala, demonstram que os alunos se interessam pelo tema, apesar de serem comumente pouco explorado. O próprio nome, Física Nuclear, permeia o imaginário de muitas pessoas.

Cabe, então, ao professor aproveitar este interesse e aprofundar o conhecimento relacionado com esta área.

A Física Nuclear tem papel de destaque no cenário científico atual, e até mesmo na política econômica internacional no que concerne ao enriquecimento de urânio para fins militares ou produção de energia elétrica, o que a torna um assunto relevante do ponto de vista educacional [...]. (SOUZA e DANTAS, 2010, p. 138-139)

Apesar da diversidade de assuntos que podem ser tratados sobre Física Nuclear, neste nível de ensino, ainda são pouco explorados. Pode-se considerar que um dos motivos para isso ocorrer é justamente o grau de dificuldade apresentada pela Física Nuclear, principalmente quando analisada sob aspectos quantitativos, requerendo um tratamento matemático com nível de complexidade consideravelmente alto.

No entanto, este problema pode ser contornado, como sugerem as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná:

[...] redução do ensino de Física à memorização de modelos, conceitos e definições excessivamente matematizados e tomados como verdades absolutas, como coisas reais. Ressalta-se a importância de um enfoque conceitual para além de uma equação matemática, sob o pressuposto teórico de que o conhecimento científico é uma construção humana com significado histórico e social. (PARANÁ, 2008, p. 50)

Sendo assim, a ênfase deve ser dada aos aspectos qualitativos sobre os quantitativos. Sendo assim, diversos conteúdos relacionados à Física Nuclear podem ser trabalhados no ambiente escolar, pois a relevância encontra-se na forma como o fenômeno ocorre e não apenas em cálculos cujas interpretações podem ser demasiadamente complexas e abstratas.

[...] é importante que o professor, como mediador do conhecimento, seja capaz de contextualizar os conteúdos ministrados com o cotidiano do aluno; todos os processos nucleares são passíveis de uma aplicação prática e podem ser estendidos a outras áreas do saber. (SOUZA e DANTAS, 2010, p. 139)

Contornando-se, então, a complexidade dos conteúdos de Física Nuclear, através de uma transposição didática criteriosa aliada ao uso de modelos e simulações computacionais, o educando será capaz de compreender os processos nucleares, associando-os a inúmeras aplicações, como em usinas nucleares ou na medicina, por exemplo, além de ser capaz de discutir criticamente a respeito da importância científica dos aceleradores de partículas ou do enriquecimento de elementos radioativos para fins pacíficos ou não.

Para se verificar se ocorre e como ocorre a abordagem de Física Nuclear no Ensino Médio, buscou-se através de diálogo com professores de Física de nível médio da região de Rio Negro – PR e cidades adjacentes, uma posição sobre a importância de tais conteúdos no contexto escolar. Segundo suas respostas, Física Nuclear raramente é abordada nesta região.

Afim de ampliar o universo da pesquisa, buscou-se através da internet programas, sequências didáticas ou sugestões que abordem Física Nuclear. Os resultados encontrados foram consideravelmente reduzidos.

Como o resultado da pesquisa sobre abordagem de Física Nuclear não foi considerado satisfatório, ampliou-se, então, a pesquisa para estudos sobre abordagens de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Quatro trabalhos de regiões e épocas distintas foram analisados. Segundo seus autores, Balthazar (2008), Ferreira (2012), Sanches (2006) e Shinomiya e Ricardo (2012), foi

pesquisado junto a professores de Física do Ensino Médio sobre a relevância de programas que contemplem temas relacionados à FMC.

Analisando, então estes quatro trabalhos, além dos diálogos com professores do Ensino Médio, verificou-se que, apesar de propensos a abordarem tais conteúdos, ela ainda ocorre de forma discreta, cujas justificativas se assemelham: conteúdos de difícil compreensão por parte dos alunos e até mesmo pelos próprios professores o que os deixa inseguros para tratarem deste assunto; Programa de Física do Ensino Médio excessivamente extenso, dificultando sua abordagem.

2.2 A ABORDAGEM DA FÍSICA NUCLEAR NOS LIVROS DIDÁTICOS QUE FAZEM PARTE DO PROGRAMA NACIONAL DO LIVRO DIDÁTICO (PNLD)

As leis e parâmetros nacionais responsáveis por direcionar o conteúdo programático nas escolas médias citam, e várias vezes, a importância da formação completa do aluno como cidadão capaz de participar ativamente da construção da sociedade a qual está inserido.

Como, normalmente, são os livros didáticos que regem a sequência dos conteúdos a serem desenvolvidos ao longo do período letivo e, devido ao reduzido número de publicações especificamente desta área, tal fato nos induz a concluir que, se a abordagem de Física Nuclear ocorre, ela provavelmente deve acontecer por meio da utilização de livros didáticos.

Desta forma, se faz necessária então uma análise criteriosa a respeito das abordagens de Física Nuclear nos livros didáticos distribuídos às escolas através do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

2.1.1 Análise dos conteúdos de Física Nuclear disponível nos livros didáticos

O critério para análise dos livros didáticos foi o de verificar, exclusivamente, a abordagem de Física Nuclear, sua contextualização histórica, principalmente na sua construção científica, reações nucleares e no uso da energia nuclear e suas aplicações.

Esta análise é apresentada a seguir.

CONEXÕES COM A FÍSICA

Gloria Martini

Walter Spinelli

Hugo Carneiro Reis

Blaidi Sat'Anna

Editora Moderna

2ª edição 2013

O livro trata resumidamente de tópicos de Física Nuclear na última unidade do volume 3.

No capítulo 15, faz uma abordagem sobre a equivalência entre massa e energia, abordando com isso a fissão e fusão nucleares, porém, sem nenhum contexto histórico e explicando resumidamente o que são e como ocorrem os dois fenômenos, fazendo uma pequena menção às usinas nucleares, bem como uma discussão superficial sobre questões científicas, sociais, políticas e econômicas. Faz uma apresentação dos princípios do seu funcionamento.

No capítulo 15 (último), faz-se uma brevíssima introdução histórica do conceito de átomo. Aborda, logo em seguida, a busca pela descoberta do átomo, também breve, incluindo aí a física de partículas, modelo padrão, sem aprofundar o assunto.

SER PROTAGONISTA FÍSICA

Angelo Stefanovits

Editora SM

2ª edição 2013

Na última unidade do livro são tratados temas relacionados à Física Moderna.

O primeiro capítulo desta unidade, capítulo 9, os autores iniciam com um histórico da estrutura da matéria, fazendo um breve comentário sobre o átomo grego, comentando, também brevemente, os modelos atômicos de Dalton e de Thomson.

Abordam o modelo atômico de Rutherford de um modo um pouco mais detalhado que os modelos anteriores, explicando sua experiência e as dificuldades na explicação dos resultados. Aqui ocorre uma contextualização histórica, relacionando os resultados da experiência de Rutherford com o avanço da Física daquela época, como o estudo das linhas espectrais emitidas por um gás rarefeito.

No entanto, seguindo, na abordagem do modelo atômico de Bohr não há qualquer contextualização histórica. Apenas explicações físicas para este modelo são abordadas, bem como o modelo contemporâneo do átomo.

Sobre temas relacionados à Física Nuclear em especial, iniciam com um histórico sobre a descoberta da radioatividade, apresentando alguma contextualização histórica.

Este livro aborda o decaimento radioativo, fissão e fusão nuclear com uma explicação dos fenômenos.

Uma contextualização interessante ocorre em dois tópicos. O primeiro, intitulado de “Efeitos biológicos da radiação ionizante”, os autores discutem os efeitos da radiação nos seres vivos, principalmente, nos seres humanos. O segundo tópico citado acima é intitulado de “Aplicações tecnológicas”. Neste tópico, os autores relacionam as principais aplicações da física nuclear na vida diária, como na medicina, agricultura, indústria e combustíveis nucleares, além de trazer um pequeno texto sobre o acidente de Goiânia em 1987.

QUANTA FÍSICA

Carlos Aparecido Kantor Editora Pearson

Lilio Alonso Paoliello Jr. 2ª edição 2013

Luís Carlos de Menezes

Marcelo de Carvalho Bronetti

Osvaldo Canato Jr.

Viviane Moraes Alves

O livro dedica toda a unidade 1 do volume 3 à abordagem de Física Moderna.

No capítulo 1 desta unidade, são abordadas as formas de radiações, discutindo sua presença no contexto do nosso dia a dia. Além disso, apresenta,

também de forma contextualizada, as aplicações das radiações em algumas áreas como na medicina, na indústria, militar e na ciência.

Logo na sequência, trabalha a estrutura da matéria, fazendo um breve histórico, desde a Grécia antiga até o modelo atômico de Dalton.

Relaciona a descoberta da radioatividade como sendo uma das protagonistas para a descoberta do átomo nuclear, resultado esse, da experiência de Rutherford e daí, para o modelo do átomo quântico, tratado em todo o capítulo 2, também abordado de maneira consistente.

O capítulo 3 é dedicado à Física Nuclear, fazendo uma abordagem histórica inicial sobre as radiações nucleares, a descoberta do próton e do nêutron como sendo fundamentais na compreensão das emissões alfa, beta e gama. Para complementar a compreensão destes fenômenos, discute a existência dos isótopos de um mesmo elemento, além das interações nucleares fortes e fracas, fechando esta ideia com a apresentação das famílias radiativas e os decaimentos naturais.

Na abordagem dos processos de fissão e fusão nucleares, faz a relação destes processos e algumas de suas aplicações, como em bombas nucleares, tanto de fissão como de fusão, e no uso deste tipo de energia em usinas geradoras de energia elétrica, as usinas termonucleares.

No final deste capítulo, faz uma abordagem sobre partículas elementares e o modelo padrão, fechando com uma explicação breve sobre os aceleradores de partículas, em especial, o Large Hadron Collider (LHC).

FÍSICA

Ricardo Helou Doca

Editora Saraiva

Newton Villas Bôas

2ª edição 2013

Gualter José Biscuola

O livro praticamente não trata de assuntos de Física Nuclear. Faz uma breve abordagem do modelo atômico de Bohr e a energia de transição. Pouco mais adiante apresenta dois textos sobre aceleradores de partículas. Não há abordagem das reações nucleares, processos de fissão e fusão, além de não tratar de temas relacionados ao uso de tal energia como nos reatores nucleares.

FÍSICA

José Roberto Bonjorno

Editora FTD

Regina F. S. A Bonjorno

2ª edição 2013

Valter Bonjorno

Clinton Marcico Ramos

Eduardo de Pinho Prado

Renato Casemiro

A Física nuclear é tratada na última unidade do volume 3 deste livro.

No final do penúltimo capítulo (capítulo 12), é tratado brevemente sobre o experimento de Rutherford, com uma contextualização histórica sucinta, e sobre a teoria de Bohr e o modelo atômico atual, abordando aqui, apenas questões científicas, sem contextualização.

O último capítulo (capítulo 13), é dedicado à Física Nuclear, iniciando com uma contextualização histórica sobre a radiatividade, os estudos de Rutherford e as radiações alfa, beta e gama.

Neste contexto, o livro apresenta um texto sobre a vida de Marie Curie e sua contribuição para a ciência.

Os temas sobre a origem da radiatividade, transmutação e radioisótopos são tratados apenas sob a perspectiva científica. Uma pequena contextualização é feita, na sequência, com algumas aplicações, principalmente na medicina.

O livro fecha com um último tópico sobre as reações de fissão e fusão nucleares. É feito apenas uma explicação de como o fenômeno ocorre e do funcionamento de uma usina termonuclear. Não ocorre nenhum tipo de discussão sobre seu uso, como pontos positivos e negativos deste tipo de energia.

FÍSICA AULA POR AULA

Claudio Xavier

Editora FTD

Benigno Barreto

2ª edição 2013

Tópicos de Física Nuclear são tratados no último capítulo (cap. 20) da última unidade do volume 3 desta coleção.

Ele dá início ao capítulo sem fazer menção alguma sobre o histórico da evolução dos modelos atômicos ou mesmo da Física Nuclear. Inicia abordando o tema forças nucleares, porém de forma superficial. Logo na sequência, trata dos decaimentos e dos processos de fissão e fusão nucleares, também de forma bem superficial.

Pouco adiante discute a utilização da energia nuclear, principalmente na geração de energia elétrica. Discute sobre sua utilização no Brasil, apresentando brevemente as usinas nucleares de Angra 1, 2 e 3. Fecha o capítulo com um pequeno texto sobre os riscos dos resíduos nucleares e outro sobre o que é o enriquecimento do urânio.

Não apresenta discussões históricas, culturais ou sociais, prendendo-se mais em questões técnico-científicas.

FÍSICA

José Roberto Piqueira

Editora Ática

Wilson Carron

1ª edição 2013

Osvaldo Guimarães

O livro trata de tópicos de Física Nuclear na última unidade do volume 3.

No Capítulo 9, faz uma abordagem histórica dos modelos atômicos, desde os gregos antigos até o modelo atômico de Bohr, porém, não se aprofunda no assunto.

O capítulo 10 é dedicado inteiramente à Física Nuclear. Aqui é feita uma abordagem pouco mais profunda sobre o assunto, começando com uma breve

história da descoberta da radioatividade, analisando os decaimentos radioativos e as radiações interativas. Neste ponto, trata de algumas aplicações das radiações.

Seguindo, aborda as reações nucleares, os processos de fusão e fissão, além dos aceleradores de partículas. Apresenta maior profundidade nos temas que se referem ao uso da energia nuclear, discutindo, pontos positivos e negativos, além de fatores que afetam diretamente a sociedade, como a acomodação dos rejeitos e os riscos de acidentes nucleares.

Neste capítulo, os temas apresentados são acompanhados de dados, tabelas, gráficos, além de figuras ilustrativas.

***FÍSICA – CONCEITOS E CONTEXTOS:
PESSOAL, SOCIAL, HISTÓRICO***

Maurício Pietrocola

Editora FTD

Alexander Pogibin

1ª edição 2013

Renata de Andrade

Talita Raquel Romero

Tópicos de Física Moderna são tratados na última unidade (unidade 3) do volume 3.

Nesta unidade, o último capítulo (capítulo 11) a Física Nuclear é abordada.

O Capítulo inicia com uma abordagem histórica sobre a evolução dos modelos atômicos, abordando, em especial, o de Thomson e Rutherford. Sobre o modelo atômico de Bohr, há apenas uma explicação científica para tal modelo, sem contextualização, principalmente sem abordagem histórica.

Na sequência, aborda o tema interações nucleares e a estabilidade do núcleo.

Sobre o decaimento radioativo, faz uma apresentação histórica, desde os trabalhos de Röntgen, Becquerel e o casal Curie, chegando a uma explicação sobre os tipos de decaimentos, alfa e beta, apresentando as famílias radioativas.

Sobre as reações nucleares, apresenta apenas o processo de fissão nuclear, apresentando o processo pelo qual ele ocorre, além de algumas aplicações na geração de energia elétrica.

O capítulo se encerra com um texto intitulado de “Anjos e demônios da Física Nuclear”.

Neste texto são discutidas questões históricas como as bombas nucleares, além do uso da energia nuclear para a produção de energia elétrica.

FÍSICA

Alysson Ramos Artuso

Editora Positivo

Marlon Wrublewski

1ª edição 2013

O livro trata de temas de Física Moderna no seu último capítulo (capítulo 12) do volume 3.

No decorrer do capítulo, é feito um brevíssimo histórico sobre os modelos atômicos, iniciando pelos gregos antigos, seguido pelo modelo proposto por Rutherford, chegando ao modelo de Bohr. Neste último, ocorre apenas uma explicação científica de como o átomo se apresenta.

Pouco mais adiante, aparece uma análise pouco mais aprofundada da estrutura da matéria e do Modelo-Padrão. Aqui, acontece uma contextualização histórica e científica dos modelos propostos por Dalton, Thomson, além dos estudos realizados por Eugen Goldstein e Jean Baptiste Perrin sobre os raios catódicos. Outros nomes aparecem, porém, o foco do item recai sobre a experiência de Rutherford.

Nesta parte, ainda apresenta algumas aplicações na medicina e algumas outras descobertas, como a de César Lattes e o méson-pi, além disso, apresenta outras aplicações na ciência, como o LHC.

Na sequência, o livro comenta sobre supercondutores e volta a abordar o tema radioatividade de modo pouco mais detalhado.

Além de uma explicação sobre os decaimentos naturais, fissão e fusão, são abordados o uso militar na construção de bombas, discutindo sobre a bomba nuclear de Hiroshima, além de, sucintamente alguns acidentes como o de Goiânia e de Fukushima.

COMPREENDENDO A FÍSICA

Alberto Gaspar

Editora Ática

2ª edição 2013

O autor dedica a última unidade (unidade 4) do volume 3 do livro à abordagem de temas de Física Moderna.

No capítulo 13, são abordados os modelos atômicos de Rutherford e Bohr, a partir de uma contextualização histórica da descoberta dos raios X e da radioatividade. Nesta contextualização são analisados os trabalhos de Röntgen, do casal Curie e de Becquerel.

Uma explicação sobre os decaimentos beta é feita a partir da emissão de neutrinos, relacionando aí com a conservação da energia.

Sobre o núcleo atômico, é feita uma apresentação sobre como os processos nucleares de decaimentos naturais, fissão e fusão ocorrem. Esses processos são apresentados de forma científica. Não há discussão sobre o uso da energia proveniente das reações nucleares.

FÍSICA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Carlos Magno A. Torres

Editora Moderna

Nicolau Gilberto Ferraro

3ª edição 2013

Paulo A. de Toledo Soares

Paulo C. Martins Penteado

A unidade II (última) do volume 3 deste livro trata sobre temas de Física Moderna e Contemporânea.

No capítulo 6 desta unidade, é feita uma análise sobre os modelos atômico de Bohr, iniciando, de forma sucinta, pelos modelos da bola de bilhar, passando pelo modelo de Thomson e Rutherford, para aí chegar no modelo de Bohr.

Voltando a este tema, o capítulo 7 é dedicado a abordagem de tópicos de Física Nuclear, iniciando com a descoberta do núcleo atômico e das radiações alfa, beta e gama.

Sobre os processos de reações de fissão e fusão nucleares, inicialmente é feita uma explicação de como os processos ocorrem. Posteriormente, são discutidas aplicações destas reações e, no caso da fissão nuclear, discutem-se os rejeitos. No caso da fusão nuclear, é abordado na análise da evolução das estrelas.

FÍSICA CONTEXTO & APLICAÇÕES

Antônio Máximo

Editora Scipione

Beatriz Alvarenga

1ª edição 2013

Tópicos de Física Nuclear são praticamente inexistentes nesta obra.

A última unidade (unidade 4) do volume 3, intitulada “Física Contemporânea” não trata de temas relacionados à Física Nuclear. Em todo o volume, são feitas três abordagens sobre o tema, porém, de forma extremamente resumida.

No capítulo 8, unidade 3, são apresentadas as formas de geração de energia elétrica. Aqui é mostrado o esquema de uma usina nuclear. Não há explicação de como as reações nucleares ocorrem.

Ainda no capítulo 8, é feita uma breve explicação dos raios gama e sua origem no núcleo atômico.

Já no capítulo 9, unidade 4, é apresentado um infográfico sobre os resíduos provenientes do uso das usinas nucleares brasileiras. Ele é apresentado de forma bastante ilustrativa e didática, no entanto, não há qualquer discussão a respeito do tema, detendo-se apenas a informação. Apesar de didático, este infográfico pareceu estar ali sem motivo aparente, haja visto que, passa a impressão de estar jogado como última abordagem do livro, não fazendo contextualização com os tópicos anteriores, principalmente os da unidade 4.

FÍSICA INTERAÇÃO E TECNOLOGIA

Aurélio Gonçalves Filho

Editora Leya

Carlos Toscano

1ª edição 2013

O último capítulo (capítulo 5) trata resumidamente de temas relacionados à Física Nuclear.

Tece uma explicação sobre a radiatividade e uma breve análise do seu uso aplicado à medicina.

No último tópico do capítulo, apresenta os processos de decaimento, fissão e fusão nuclear e da força nuclear, além de um breve comentário sobre antipartículas e quarks, porém, de maneira puramente científica.

Uma contextualização ocorre com o uso de alguns textos os quais tratam, sem muita profundidade, do LHC, a massa dos corpos, a relação entre massa e energia e conclui com a ideia de uma ciência inacabada.

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

Luis Felipe Fuke

Editora Saraiva

Kazuhito Yamamoto

3ª edição 2013

O livro apresenta tópicos de Física Moderna na sua última unidade (unidade 4) do volume 3.

No capítulo 18, é feita uma breve explanação sobre o modelo atômico de Bohr.

O último capítulo (capítulo 19) é dedicado à Física Nuclear. É feita uma apresentação geral sobre ela, no que concerne seu uso para fins pacíficos e militares.

Dando sequência, são abordados modelos atômicos, desde a antiguidade, com uma sucinta contextualização histórica.

Nos processos nucleares, são explicadas as emissões alfa, beta e gama. Para tal explicação, são comentados os trabalhos de Becquerel, do casal Curie e de Rutherford.

Sobre os processos de fissão e fusão nucleares, além da explicação dos fenômenos, são apresentadas algumas aplicações como na medicina, na datação por isótopos e na geração de energia elétrica.

Sobre esta última, além de uma explicação da estrutura de uma central nuclear e seu funcionamento na geração de energia elétrica, são discutidos também temas relacionados aos sistemas de segurança das usinas.

O capítulo fecha com uma análise das radiações ionizantes e seu uso na irradiação de alimentos, utilizado principalmente para conservação.

Pode ser visto na análise dos livros pertencentes ao PNLD que, para a maioria dos autores, é importante abordar conteúdos relacionados à Física Nuclear e, um número menor de autores, deixam transparecer que não considerarem de grande relevância tal tema, uma vez que, ou abordam superficialmente ou então praticamente não o fazem.

Além disso, vale ressaltar que, com a exceção de apenas uma obra, todas as outras que fazem abordagem sobre os conteúdos analisados, os coloca em sua última unidade do volume 3, e, ainda dentro desta unidade, Física Nuclear ocupa, também em quase sua totalidade, o último capítulo.

Para entender como e quanto de conteúdos de Física Nuclear são abordados nas escolas públicas do Estado do Paraná, fez-se necessária uma pesquisa dos livros do PNLD adotados nas escolas.

Esta pesquisa ocorreu junto ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE, do Governo Federal, por meio de pesquisa na página da internet que trata da distribuição do livro didático, dentro da própria instituição. Foram pesquisadas, uma a uma, as 1482 escolas públicas com Ensino Médio no Paraná. Os dados obtidos são apresentados nos gráficos a seguir.

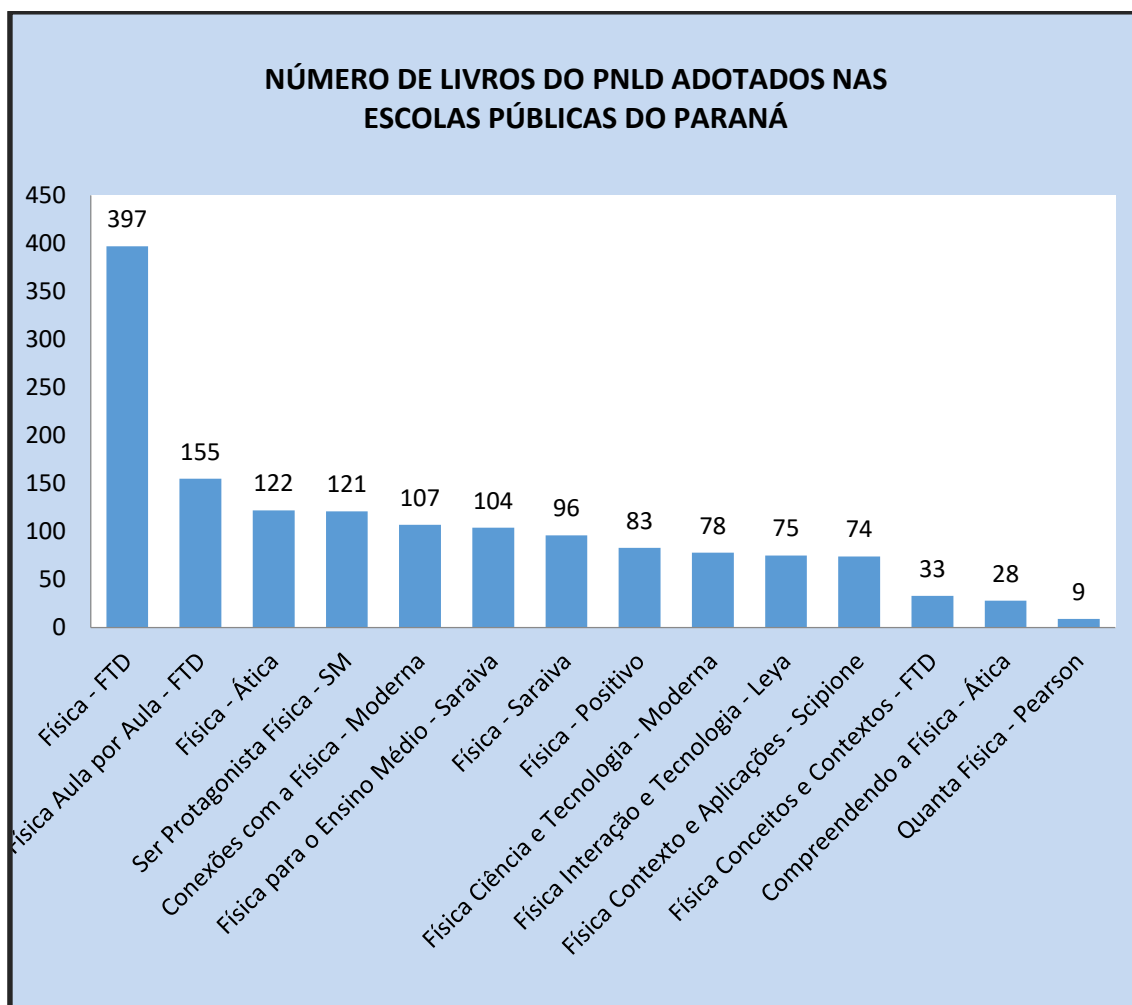


Gráfico 2.1. Fonte: FNDE¹

O gráfico 2.1 apresenta o número de escolas que adotaram cada uma das 14 obras disponíveis para escolha cuja análise fora apresentada acima.

O gráfico 2.2, apresentado abaixo, foi confeccionado a partir dos mesmos dados do gráfico 2.1, porém, ele faz uma demonstração das obras adotadas em porcentagem.

¹<https://www.fn.de.gov.br/distribuicaosimadnet/iniciarSistema.action;jsessionid=A940141EEA250B8D14C4F5C267CCFD4B.ouro008>



Gráfico 2.2. Fonte: FNDE²

A partir da análise dos dados obtidos e apresentados nos gráficos 2.1 e 2.2, é possível perceber que, em hipótese, conteúdos de Física Nuclear ainda apresentam uma abordagem restrita no Ensino Médio, o que corrobora as respostas dadas pelos professores, pois, se são os livros didáticos os principais responsáveis por reger o programa a ser desenvolvido na sala e, se 99% das escolas fazem uso de livros que, ou abordam conteúdos de Física Nuclear nos últimos capítulos, senão no último, ou então praticamente o excluem, pode-se confirmar a deficiência de temas desta área com grau elevado de certeza.

A partir da explicitação desta deficiência, reconheceu-se, então, a necessidade de desenvolver uma sequência didática, apresentada na forma de um produto educacional, onde conteúdos de Física Nuclear, apresentado com uma

²<https://www.fnde.gov.br/distribuicaosimadnet/iniciarSistema.action;jsessionid=A940141EEA250B8D14C4F5C267CCFD4B.ouro008>

linguagem de fácil compreensão, tanto para a utilização do professor, como do aluno. Além disso, este produto foi idealizado e desenvolvido dentro de uma proposta que coloca o aluno como protagonista da construção do seu conhecimento, tendo o professor o papel de auxílio nesta construção.

Foi pensado, cuidadosamente na maneira de abordagem dos conteúdos, como na apresentação textual, além da utilização de modelos, simulações computacionais e textos relacionados com o tema, auxiliando o educando na compreensão dos fenômenos nucleares, bem como sua participação e discussão, posicionando-se de forma crítica e consciente acerca da importância de utilização dos processos oriundos de reações com núcleos atômicos.

O produto educacional, resultado de tal trabalho será apresentado na sequência.

3 PRODUTO EDUCACIONAL

Com o objetivo de proporcionar ao professor de ensino médio uma proposta de abordagem do conteúdo de Física Nuclear, este material foi elaborado utilizando uma transposição didática, além de inúmeras ilustrações, curiosidades, sugestões de construção de modelos e de uso de simulações computacionais, isto de uma forma contextualizada com fatores históricos, políticos, culturais e sociais presentes no desenvolvimento conceitual dos modelos atômicos e de suas aplicações, em especial, aplicações resultantes de reações nucleares.

No entanto, apesar do formato histórico e cientificamente contextualizado do material desenvolvido, tomou-se o cuidado para que os conceitos físicos relacionados ao tema pudessem ser construídos, dando base para que o aluno seja capaz de tomar um posicionamento crítico diante do uso da energia nuclear.

3.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática é agrupada em quatro temas principais, ligados entre si de forma contextualizada tanto sob aspectos históricos quanto cronológicos da construção da estrutura da matéria e evolução dos modelos atômicos.

O quadro a seguir apresenta os quatro temas e seus objetivos gerais:

TEMA	OBJETIVOS GERAIS
Átomo	Reconhecer a influência do momento histórico/científico na construção dos modelos atômicos.
Radioatividade	Relacionar a descoberta da radioatividade como sendo fundamental para o entendimento da estrutura atômica nuclear.
Decaimentos naturais	Compreender o processo de decaimentos naturais, relacionando-os com a incidência dos isótopos dos elementos existentes na natureza.
Reações de fissão e fusão nucleares	Entender os processos de fissão e fusão nucleares, discutindo suas aplicações.

Quadro 3.1. Temas Principais

3.1.1 Sequência das aulas

A intervenção didática foi distribuída em oito aulas, já sendo consideradas as alterações feitas no processo de sua implantação. A seguir é apresentado um quadro com o resumo de cada aula para uma melhor visualização.

AULA	CONTEÚDO	OBJETIVOS
01, 02	- Histórico da evolução dos modelos atômicos; - Simulação computacional dos modelos atômicos: Pudim de ameixas e Átomo de Rutherford	• Reconhecer a evolução da ciência como algo em construção; • Estabelecer a evolução atômica como sendo parte de um processo histórico e científico; • Perceber as dificuldades da ciência, principalmente no que se refere ao mundo do muito pequeno; • Compreender a construção científica como algo passível de erros devido a interferências e limitações humanas; • Entender o experimento de Rutherford; • Analisar os resultados do experimento, diante do esperado e do observado.
03	- Descobrimiento da radioatividade	• Entender como o descobrimento da radioatividade influenciou no entendimento do modelo atômico.
04	- A radioatividade e os decaimentos alfa, beta e gama;	• Conhecer os processos de decaimentos alfa, beta e gama; • Relacionar os processos de

	- Isótopos dos elementos	decaimentos com a existência dos isótopos de um mesmo elemento.
05	- Atividade prática: Construção de modelo representativo dos isótopos do elemento Urânio	• Interpretar o significado do modelo proposto na atividade; • Calcular a porcentagem das duas cores existentes no modelo; • Comparar a porcentagem das cores do modelo com a existência dos isótopos do Urânio 238 e 235;
06	- Fissão nuclear; - Reatores nucleares de fissão; - Fusão nuclear; - Reatores de fusão nuclear	• Entender o processo de fissão nuclear; • Compreender o fenômeno da reação em cadeia; • Compreender a necessidade do enriquecimento de Urânio quando este é utilizado em processos que requerem uma reação em cadeia; • Interpretar o enriquecimento do Urânio com o modelo visualizado na aula anterior. • Entender o funcionamento básico do reator nuclear de fissão. • Entender o processo de fusão nuclear; • Relacionar as reações de fusão nuclear com o combustível estelar; • Comparar, qualitativamente, a

		energia liberada pelas reações de fissão e fusão nucleares; • Identificar as dificuldades na implementação de reatores de fusão na geração de energia elétrica.
07	Simulação computacional - Simulação 1: Decaimento beta; - Simulação 2: Decaimento alfa; - Simulação 3: Fissão nuclear, reação em cadeia e reator nuclear	• Identificar o fenômeno simulado; • Discutir a diferença no tempo de decaimento de cada átomo de um mesmo elemento; • Analisar a energia do núcleo na absorção de um nêutron; • Descrever o produto resultante da fissão e fusão nucleares; • Perceber a utilidade de uma câmara de contenção; • Entender a relação explosão/massa crítica; • Visualizar o funcionamento de um reator nuclear de fissão; • Relacionar o número de fissões com a energia produzida no processo.
08	- Discussão com base no texto: Energia Nuclear: Risco ou oportunidade	• Discutir a matriz energética no Brasil; • Formular um pensamento crítico sobre o uso de reatores nucleares na geração de energia elétrica; • Discutir a potencial letalidade da radiação liberada no interior do reator; • Identificar o avanço tecnológico

		no uso da energia nuclear; • Contrastar os pontos positivos e negativos no uso deste tipo de energia;
--	--	--

Quadro 3.2. Distribuição de conteúdos e objetivos por aula

A partir da observação do quadro 3.2, é possível perceber que o método de intervenção dos conteúdos foi dividido de três formas diferentes, que são elas: Conceituação histórica e científica, simulações computacionais e construção de modelo (atividade prática). Tais métodos são discutidos a seguir.

3.1.2 Conceituação Histórica e Científica

Atualmente, as sociedades encontram-se cercadas de dispositivos tecnológicos resultantes do desenvolvimento da pesquisa em ciências. No entanto, na maior parte dos casos, o cidadão não é capaz de avaliar, de maneira consciente, entre a escolha e o uso deste ou aquele produto, baseando-se apenas no conhecimento imposto pelo senso comum.

Hoje, e cada vez mais no futuro, a ciência e os resultados de suas aplicações tecnológicas estão permeando a nossa vida, interferindo no processo social, seja com aspectos positivos, seja com negativos. De seu lado, o homem comum, aquele que constitui a imensa maioria da população brasileira, de pouca ou nenhuma escolaridade, embora faça uso e conviva com alguns desses “produtos”, tem pouca chance de refletir sobre eles, colocando-se numa situação de mero espectador. À margem de um conhecimento para ele inatingível, acaba mistificando-o. (DELIZOICOV; ANGOTTI, p. 46, 1994)

Diante disso, a formação científica do estudante, formação esta não objetivando produzir cientista, mas sim contribuir para formação de cidadania, é amplamente defendida pelo movimento CTS, pois, como já discutido, C&T exerce forte influência sobre a sociedade atual.

Considerando os objetivos mais amplos da educação, principalmente dar condições para o exercício pleno da cidadania, um mínimo de formação básica em Ciências deve ser desenvolvido, de modo a fornecer instrumentos que possibilitem uma melhor compreensão da sociedade em que vivemos. Assim, encaramos o conhecimento mínimo em Ciências como necessário para a formação cultural de qualquer cidadão. (DELIZOICOV; ANGOTTI, p. 46, 1994)

Além do conhecimento em ciências, propriamente dito, é preciso localizar o aluno sobre o meio no qual a ciência é construída, pois, ao contrário do que, em geral, se imagina, a evolução dos modelos científicos ocorrem entrelaçados à processos e momentos históricos, cercado por diferentes ideias de diferentes cientistas.

É comum, na ciência, que grupos diferentes de pesquisadores defendam esta, ou aquela ideia, sobre uma nova teoria, ou até mesmo sobre teorias mais antigas. Muitos conflitos ocorrem dentro da comunidade científica. Isto é perfeitamente plausível, visto que, a ciência é uma construção humana, recebendo, então, influências sociais, culturais, políticas e econômicas.

Assim, não se pode deixar de lado tais influências, passando-se ao aluno uma ideia de ciência alheia ao mundo. Se o processo de construção científica ocorre em meio a conflitos, isto deve ser discutido em sala de aula.

[...] tal conhecimento não pode ser administrado numa perspectiva de simples transmissão. Ele deve ser garantido numa abordagem crítica, caracterizando o empreendimento científico como uma atividade humana, não-neutra, financiada e com vinculações econômicas e políticas. Mais ainda, não se pode esquecer de que se trata de um processo, que tem uma história e uma evolução não-linear, produzida coletivamente, isto é, por equipes de especialistas em vários centros, com permanente intercâmbio de informações, e não simplesmente por alguns “gênios” como vulgarmente tem-se caricaturado os cientistas, atribuindo-lhes até comportamentos excêntricos, mistificando-os. (DELIZOICOV; ANGOTTI, p. 46, 1994)

Diante do exposto, o material didático foi construído de forma cuidadosa no que se refere à história de como a ciência evolui, seus erros e acertos ao longo desta evolução, resultados estes impostos, principalmente pelas limitações do próprio conhecimento. Além disso, vale ressaltar a importância do acúmulo de conhecimento ao longo da história para que este possa evoluir.

3.1.3 Simulação Computacional

Nas aulas de Física do Nível Médio, geralmente, privilegia-se os aspectos quantitativos, sendo apresentadas ao estudante inúmeras equações matemáticas que descrevem o mundo real. Porém, a maioria dos estudantes apresentam dificuldade na visualização da relação entre os inúmeros cálculos e suas aplicações.

No entanto, a maioria dos temas de Física abordados no Ensino Médio estão relacionados a fenômenos macroscópicos ou resultados que possam ser

observados macroscopicamente. Desta forma, é possível fazer uso de atividades de laboratório para que o estudante seja capaz de relacionar o que fora estudado em sala com a realidade vivencial.

Porém, diversos outros temas não podem ser visualizados macroscopicamente como também não podem ser reproduzidos no laboratório escolar, desta forma, “As simulações podem ser bastante úteis, principalmente quando a experiência original for impossível de ser reproduzida pelos estudantes.” (MACÊDO; DICKMAN; ANDRADE, 2012, p. 573). Neste grupo de temas se enquadra os de Física Nuclear, que apresenta um alto grau de complexidade quando analisada quantitativamente e, mesmo sob aspectos qualitativos, experimentos desta natureza não são simples de realizar, além disso, não são permitidos pelas normas de segurança e nem pela legislação.

Assim, para abordagem de conteúdos de difícil compreensão, pode-se aliar a prática de simuladores computacionais, como propõe Souza Filho:

A escolha do conteúdo a ser trabalhado por meio de simulações computacionais passa pela identificação, com base na bibliografia de pesquisa em ensino de física, de pontos específicos que apresentam alto nível de dificuldade de apreensão por parte do aluno e que são de difícil explanação por meio das ferramentas tradicionais de ensino. (SOUZA FILHO, 2010, p. 27)

Esta alternativa para contornar tais problemas/limitações associada ao uso de simulações computacionais, por tratar-se de uma ferramenta que, aliada à abordagem conceitual poderá trazer grande contribuição ao aprendizado, também é defendida por Fiolhais e Trindade (2003)

O balanço da utilização do computador no ensino revela-se inegavelmente positivo não apenas por ele ser um instrumento que é hoje imprescindível a um ensino activo, baseado na descoberta progressiva do conhecimento pelo aluno e na maior autonomia de sua aprendizagem, mas também porque, levantando novas questões e ressuscitando algumas questões antigas, relançou a discussão em torno de assuntos cruciais como as relações professor-aluno, aluno-aluno e o desenvolvimento das capacidades do professor e do aluno.

No entanto, fazer uso da ferramenta computacional requer alguns cuidados. O primeiro deles é ter objetivos bem claros na realização da atividade, pois caso contrário, ela se tornará apenas uma atividade recreativa, sem contribuição para o ensino-aprendizagem. Outro cuidado necessário é sobre o tipo de simulação a ser

utilizada. Algumas delas requerem um nível de conhecimento computacional que os alunos não têm.

Sobre isso, Souza Filho comenta que:

Ao representar o modelo que descreve um determinado fenômeno físico no formato multimídia através de uma simulação computacional, utilizamos um conjunto de símbolos e ícones de identificação visual dos conceitos a serem abordados. Esse esquema visual deve corresponder ou ser equivalente, com suas simplificações inerentes ao ambiente virtual, ao modelo do fenômeno que queremos representar de forma idealizada. Em outras palavras, a aparência do aplicativo, com a simbologia utilizada (ícones, diagramas, gráficos e setas), além de recursos interativos e elementos visuais em movimento, deve formar um conjunto visual no qual o conteúdo trabalhado e a forma de apresentação correspondam ao objetivo de aprendizagem e também à forma como se deseja que o conteúdo seja estruturado na mente do aluno. (SOUZA FILHO, 2010, p. 16-17)

Além disso, não deve ser apenas uma coleta de dados numéricos, pois dessa forma, acaba voltando apenas para a análise quantitativa. Esta ferramenta deve ser de fácil utilização, mas que também retrate o mais fielmente possível o fenômeno estudado.

Assim, Souza Filho afirma que:

[...] é importante que a compreensão do aplicativo seja precisa e rápida, sem que seja necessário investir tempo na explicação a respeito do funcionamento do simulador. Nesse sentido, o aplicativo deve ser intuitivo, com botões (setas, barras de rolagem, etc), figuras e ilustrações que, em conjunto, levem o usuário a perceber claramente o ambiente no qual o fenômeno é apresentado. (SOUZA FILHO, 2010, p. 17).

Levando-se em conta estes fatores, foi proposta a utilização de uma ferramenta que tem ganho destaque nestes últimos anos, os simuladores do projeto PhET Interactive Simulations (Physics Educational Technology)³ da Universidade do Colorado. Este projeto, idealizado pelo físico Carl Wieman, ganhador do Prêmio Nobel de Física em 2001, disponibiliza diversas simulações, desenvolvidas em linguagem Flash, trazendo uma aparência bastante didática do fenômeno, além da interatividade em tempo real.

O grupo PhET possui uma abordagem baseada em pesquisa, na qual as simulações são planejadas, desenvolvidas e avaliadas antes de serem publicadas no site. As entrevistas realizadas com diversos estudantes são fundamentais para o entendimento de como eles interagem com simulações e o que as torna efetivamente educacional. (ARANTES; MIRANDA; STUART, 2010)

³ Do Inglês: Tecnologia Educacional em Física

É possível perceber, então, que o grupo PhET, além do cuidado para que as simulações tenham interatividade e da preocupação para que elas descrevam os fenômenos Físicos estudados o mais fiel possível à realidade, disponibilizam-na livremente para uso on-line ou para downloads, justamente para que a ciência possa ser disseminada e experimentada por professores, estudantes ou qualquer outra pessoa que tenha interesse.

No entanto, são necessários cuidados com o uso de tal ferramenta, segundo seu idealizador, Wieman (2008), citado por ARANTES, MIRANDA e STUDART (2010)

Elas são muito poderosas, mas não necessariamente benéficas. Uma boa simulação pode levar a uma aprendizagem muito rápida e muito efetiva de assuntos difíceis. Contudo, se existe algo numa simulação que o aluno interpreta diferentemente do que se pretendeu, eles podem aprender a ideia errada.

Para contornar este possível obstáculo, é importante que o professor esteja atento, tanto na elaboração da atividade proposta como também na execução da mesma, realizando intervenções sempre que estas se fizerem necessárias.

3.1.4 Construção de Modelos

A Física é considerada, em geral, de difícil compreensão por parte dos estudantes. O uso de modelos podem, porém, minimizar os problemas relacionados a esta dificuldade.

Segundo Pinho Alves e Pinheiro (2010), “Os modelos construídos, sejam por cientistas, sejam por estudantes, têm por objetivo a busca de uma melhor compreensão da natureza.” Adotando-se, então o uso de modelos, o estudante é capaz de tecer uma relação entre o conteúdo estudado conceitualmente e seu significado, contribuindo com isso para uma aprendizagem.

Ainda, segundo Pinho Alves e Pinheiro (2016), o uso de modelos em sala de aula requer certos cuidados por parte do professor, pois, dependendo da abordagem, o aluno poderá construir um conhecimento mais irreal do que real.

[...] o aluno deve entender que modelo não rege o fenômeno da natureza – mas tenta explicá-lo, entendê-lo. É comum o aluno assumir o modelo como sendo a realidade, a natureza, imaginando que a natureza está submissa ao modelo. Este é o resultado de um ensino dogmático!” (PINHO ALVES; PINHEIRO, p. 220, 2010)

Para romper com este dogmatismo, o educador deve desempenhar o papel de mediador do conhecimento, auxiliando o estudante no sentido de perceber que os modelos auxiliam na compreensão da realidade, mas não a são.

Sob esta perspectiva, a atividade proposta da aula cinco do produto educacional permitirá ao estudante compreender a incidência dos diferentes isótopos de um elemento, visualizando algo que, é impossível na prática, pois, núcleos atômicos não podem ser vistos diretamente. Mesmo com o uso de instrumentos poderosos de observação, ainda assim, as imagens são apenas representações computacionais da realidade, são modelos.

4 PRODUTO EDUCACIONAL: APLICAÇÃO E ANÁLISE

O produto educacional tem como tema geral a Física Nuclear. Este tema foi escolhido pela sua relevância no que consiste a discussão quanto ao uso da energia nuclear, tema que tem sido objeto de debates, tanto no meio científico como nos meios de comunicação, aos quais a população em geral tem acesso. Sendo assim, entendeu-se como sendo relevante a abordagem de tais conteúdos, para que, o aluno pudesse tomar um posicionamento crítico frente ao debate do uso deste tipo de energia.

Desta forma, pensou-se em uma proposta pedagógica que levasse em conta, além das discussões sobre o tema, um aprendizado sobre os processos históricos/científicos em que a ciência se constrói e um entendimento sobre a estrutura atômica e nuclear, relacionando esta estrutura com os fenômenos da radiação e reações nucleares, como a Fissão e Fusão.

O produto educacional, resultado da transposição didática de temas de Física Nuclear, foi aplicado de acordo com a sequência organizada para ser desenvolvida em oito aulas, como exposto no quadro 3.2.

A experimentação do produto ocorreu na turma de 4ª Série de Formação de Docentes da Educação Infantil e dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental, na modalidade Integrada (4ª MIA), do Colégio Estadual Barão de Antonina, Rio Negro, Paraná, no período de novembro e dezembro de 2015.

A seguir, será feita uma descrição do produto, bem como a análise de sua aplicação. Esta análise foi feita a partir de uma avaliação diagnóstica no decorrer das aulas, onde observou-se a participação dos alunos, sua motivação, além das discussões e debates que surgiram no processo de implementação.

AULAS 01 E 02

CONTEÚDO

- ✓ Histórico da evolução dos modelos atômicos.

OBJETIVOS

- Reconhecer a evolução da ciência como algo em construção;

- Estabelecer a evolução atômica como sendo parte de um processo histórico e científico;
- Perceber as dificuldades da ciência, principalmente no que se refere ao mundo do muito pequeno;
- Compreender a construção científica como algo passível de erros devido a interferências e limitações humanas.

DESENVOLVIMENTO

A turma foi dividida em grupos de quatro integrantes. Cada grupo recebeu um fragmento do texto desenvolvido no produto educacional.

Na primeira aula, os textos utilizados pelos estudantes fazem referência à estrutura da matéria, tendo início pelas representações propostas na Grécia Antiga e, percorrendo sua evolução, já na modernidade com os modelos atômicos propostos por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr.

Na atividade, foi proposta, a cada grupo, a elaboração de uma apresentação na forma de cartazes, colocando os pontos mais relevantes sobre esta evolução.

Na segunda aula, dando continuidade ao trabalho, cada grupo, por ordem cronológica, fez a apresentação da sua parte. Esta apresentação foi sendo exposta para toda a turma, na forma de uma linha do tempo da evolução dos modelos atômicos, além dos principais nomes relacionados a ela.

Nos momentos finais da aula, foram apresentadas duas simulações do PhET Interactive Simulations. Estas simulações não foram idealizadas com o intuito de uma manipulação por parte dos alunos, foi utilizada apenas em caráter demonstrativo, sendo operado pelo professor com projeção por data show.

Por se tratar de uma simulação bastante simples, seu objetivo principal foi o de observar o resultado esperado e o experimental, gerando, a partir disso um diálogo acerca dos erros e acertos dos modelos atômicos e as limitações impostas por um fenômeno de observação direta impossível.

Tais simulações estão disponíveis em https://phet.colorado.edu/pt_BR/.

A seguir, são apresentadas as telas dos simuladores utilizados.

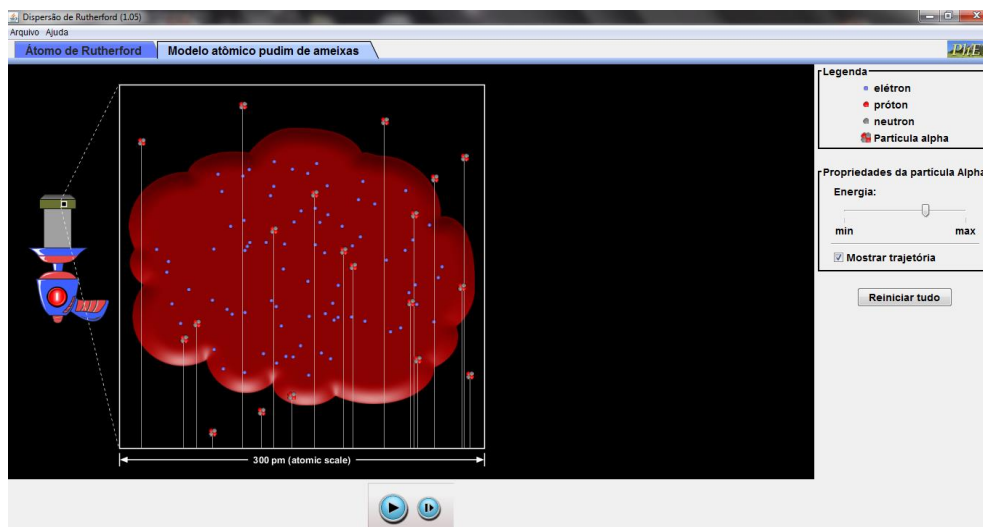


Figura 4.1. Modelo Atômico de Thomson – Resultado esperado

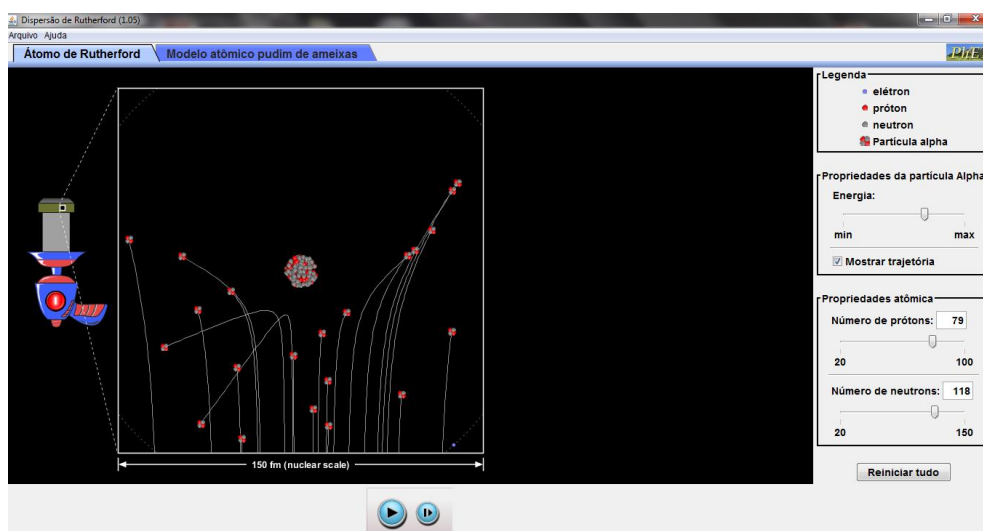


Figura 4.2. Modelo Atômico de Rutherford – Resultado experimental

ANÁLISE

Enquanto os grupos realizavam a atividade proposta na aula 01, foram percebidas discussões sobre o que deveria ser mais relevante na história da evolução atômica. Apesar de um acompanhamento atento na realização da atividade, intervenções por parte do professor ocorreram em um número relativamente baixo.

O formato da atividade foi escolhido justamente com o propósito de uma análise crítica sobre o tema abordado. Assim sendo, fica clara a participação ativa

dos estudantes na construção do seu conhecimento, tendo o professor apenas como um facilitador.

A conclusão da atividade, realizada na aula 02, ocorreu também de forma bastante participativa. Porém, neste momento, a participação não se deu em cada grupo isoladamente, mas no geral, uma vez que as apresentações de cada grupo foram feitas para a turma toda.

Diversas vezes, durante as apresentações, alunos de outros grupos participaram com comentários sobre as conexões que foram se formando entre o que eles haviam estudado, uma vez que, cada grupo recebeu parte do texto, não conhecendo, assim, o material dos demais. A intenção havia sido esta, dos estudantes observarem que fatos aparentemente isolados, na realidade, ocorreram dentro de um contexto maior.

Ao final das apresentações, o experimento de Rutherford foi mostrado no simulador. As discussões ocorreram, principalmente em torno das dificuldades de interpretação dos resultados, uma vez que estes se mostraram diferentes do que era esperado.

Registros fotográficos da atividade constam no Apêndice A.

AULA 03

CONTEÚDO

- ✓ Descobrimento da radioatividade

OBJETIVOS

- Entender como o descobrimento da radioatividade influenciou no entendimento do modelo atômico.

DESENVOLVIMENTO

Para esta aula, foi distribuído previamente um texto para leitura. Este foi um material elaborado para compor o produto educacional. Sua produção foi cuidadosamente estruturada levando-se em consideração fatos e descobertas mais

relevantes nas pesquisas realizadas, principalmente por Becquerel e pelo casal Curie, sobre a descoberta da radioatividade.

Esta aula se desenvolveu a partir de um diálogo construtivo entre o professor e os alunos, uma vez que, por ter tido um contato prévio com o texto, não estavam alheios ao que estava sendo trabalhado.

ANÁLISE

O formato dialógico adotado nesta intervenção pedagógica foi bastante produtivo. O desenvolvimento foi pensando de uma forma em que não ocorresse uma apresentação de conteúdos, tendo os alunos como agentes passivos, mas sim, ativamente participantes no processo de construção do conhecimento. No desdobramento dos conteúdos abordados na presente aula, fatos relevantes ao processo de aprendizagem ocorreram. Os alunos, em vários momentos, foram capazes de relacionar a importância das pesquisas sobre a radioatividade com os experimentos de Rutherford, que culminaram com um modelo atômico inesperado e contrário a tudo o que se pensava, na época, sobre a constituição da matéria.

AULA 04

CONTEÚDO

- ✓ A radioatividade e os decaimentos alfa, beta e gama;
- ✓ Isótopos dos elementos

OBJETIVOS

- Conhecer os processos de decaimentos alfa, beta e gama;
- Relacionar os processos de decaimentos com a existência dos isótopos de um mesmo elemento.

DESENVOLVIMENTO

A intervenção pedagógica durante esta aula, ocorreu também dialogada como as anteriores, porém, nesta em especial, alguns aspectos mais formais relacionados à radioatividade e aos decaimentos alfa, beta e gama foram tratados.

Assim, se fez necessária uma intervenção mais explicativa por parte do professor, uma vez que, os fenômenos tratados aqui apresentam uma explicação mais complexa.

ANÁLISE

Mesmo se tratando da análise de fenômenos com grau de complexidade maior, a participação dos alunos, o nível das perguntas e dos comentários durante a intervenção demonstrou que os objetivos foram alcançados.

Ficou evidente a construção do conhecimento por parte dos estudantes, havendo, inclusive comentários relacionados aos conteúdos aprendidos na disciplina de química, como informações sobre a tabela periódica dos elementos, além de uma maior clareza na posição que cada elemento ocupa nela.

Uma atividade extra, proposta anteriormente à aula, foi uma pesquisa sobre as famílias radiativas. Ressalta-se aqui, que nem todos os alunos a realizaram. No entanto, mesmo para estes, ficou clara a relação entre o número atômico e a identidade do átomo, uma vez que, o que caracteriza um elemento químico é justamente o número de prótons que ele apresenta em seu núcleo.

AULA 05

CONTEÚDO

- ✓ Atividade prática: Construção de modelo representativo dos isótopos do elemento Urânio

OBJETIVOS

- Interpretar o significado do modelo proposto na atividade;
- Calcular a porcentagem das duas cores existentes no modelo;
- Comparar a porcentagem das cores do modelo com a existência dos isótopos do Urânio 238 e 235;

DESENVOLVIMENTO

Para uma melhor compreensão dos conteúdos de radioatividade e decaimentos naturais trabalhados na aula 04, foi desenvolvida a proposta de uma

atividade prática, consistindo na construção de um modelo representativo dos átomos de Urânio existentes na natureza.

Divididos em grupos, os alunos construíram o que chamaremos aqui de “caixas de átomos”. Para representar os átomos do Urânio 238 e 235, foram utilizadas miçangas nas cores branca e preta. Na representação da porcentagem dos isótopos estudados, foram utilizadas mil miçangas, sendo 993 brancas, representando o U-238 e 7 pretas representando o U-235.

Na produção da caixa de átomos, foi pedido aos grupos que cada um contasse as mil miçangas. Mesmo ocupando um tempo relativamente grande da aula, isto foi importante para que os alunos tivessem contato com a proporção de cada cor, não apenas através de observação da caixa pronta, mas sentissem, durante a contagem, a grande diferença entre o número dos dois isótopos, representados na atividade.

O modelo representativo proposto na atividade é visto abaixo.



Figura 4.3. “Caixa de átomos”⁴

ANÁLISE

Ao final da contagem, os alunos foram questionados sobre o que o modelo representava. Surgiram diversas hipóteses, algumas delas relacionadas com os conteúdos da aula anterior. Vale ressaltar que, até o momento, não havia sido comentado com os alunos o que se pretendia representar. Isto foi proposital, justamente para que hipóteses fossem levantadas.

Na sequência, com base nos comentários dos alunos e, relacionando com os decaimentos radioativos estudados anteriormente, foi construído o conhecimento, com ênfase na desigualdade entre os isótopos dos elementos. Neste momento,

⁴ Do autor.

pretendeu-se proporcionar embasamento teórico sobre a importância do enriquecimento do urânio, que seria tratado na aula seguinte.

Além da base conceitual tratada na atividade, foi proposta uma análise matemática das proporções existentes entre os dois isótopos. As respostas, por parte dos alunos, foram imediatas, demonstrando, com isso que, os objetivos, principalmente os conceituais haviam sido atingidos com êxito.

Registros fotográficos da atividade constam no Apêndice B.

AULA 06

CONTEÚDO

- ✓ Fissão nuclear;
- ✓ Reatores nucleares de fissão;
- ✓ Fusão nuclear;
- ✓ Reatores de fusão nuclear

OBJETIVOS

- Entender o processo de fissão nuclear;
- Compreender o fenômeno da reação em cadeia;
- Compreender a necessidade do enriquecimento de Urânio quando este é utilizado em processos que requerem uma reação em cadeia;
- Interpretar o enriquecimento do Urânio com o modelo visualizado na aula anterior.
- Entender o funcionamento básico do reator nuclear de fissão.
- Entender o processo de fusão nuclear;
- Relacionar as reações de fusão nuclear com o combustível estelar;
- Comparar, qualitativamente, a energia liberada pelas reações de fissão e fusão nucleares;
- Identificar as dificuldades na implementação de reatores de fusão na geração de energia elétrica.

DESENVOLVIMENTO

A abordagem dos fenômenos de Fissão e Fusão nucleares, ocorre a partir de uma contextualização histórica, seguida dos conceitos físicos envolvidos nas reações.

Apesar da excessiva complexidade técnica nos processos tanto de fissão como de fusão nucleares, a compreensão de tais fenômenos pode ocorrer com relativa facilidade.

Nesta aula, são discutidos os princípios pelos quais ocorrem as reações.

No processo de fissão nuclear, além da análise dos elementos potencialmente utilizáveis, deve ser enfatizado que nem todos os isótopos destes elementos são físseis. Sendo assim, vale-se das discussões da aula anterior para perceber a importância do processo de enriquecimento. Além disso, é feita uma apresentação técnica do funcionamento dos reatores nucleares utilizados na geração de energia elétrica.

Apesar de ocorrerem discussões relacionadas aos pontos positivos e negativos do uso deste tipo de energia, estas serão tratadas com maior profundidade mais adiante.

Semelhantemente a abordagem dos conceitos relacionados à fissão nuclear, também se faz com as reações de fusão nuclear.

Para a compreensão destas reações, são empregados exemplos que ocorrem no interior de estrelas como o sol. Aqui são discutidas as condições necessárias para que átomos de isótopos de hidrogênio possam se fundir, além de uma análise do produto resultante dessas reações.

Sobre o uso deste tipo de energia, foi feita uma apresentação sobre as pesquisas nesta área, incluindo-se aí, os experimentos realizados nos reatores do tipo Tokamak e as limitações ainda presentes na empregabilidade prática desta tecnologia.

ANÁLISE

A Física Nuclear, simplesmente pelo nome, já desperta interesse em geral. Discutir as aplicações relacionadas a ela acabou por tornar as aulas mais atrativas.

No início da aula, com os alunos sabendo que seriam tratados fenômenos relacionados às reações nucleares e algumas aplicações como nos reatores, houve uma mescla de expectativa e insegurança.

Expectativa por se tratar de um assunto comumente interessante e insegurança pelo nível de complexidade que, em geral, é apresentado.

Durante o transcorrer da aula, de acordo com a participação ativa dos alunos, suas dúvidas e curiosidades relativas ao tema estudado, evidenciou-se a compreensão dos fenômenos ali estudados.

AULA 07

CONTEÚDO

Simulação computacional

- ✓ Simulação 1: Decaimento beta;
- ✓ Simulação 2: Decaimento alfa;
- ✓ Simulação 3: Fissão nuclear, reação em cadeia e reator nuclear

OBJETIVOS

- Identificar o fenômeno simulado;
- Discutir a diferença no tempo de decaimento de cada átomo de um mesmo elemento;
- Analisar a energia do núcleo na absorção de um nêutron;
- Descrever o produto resultante da fissão e fusão nucleares;
- Perceber a utilidade de uma câmara de contenção;
- Entender a relação explosão/massa crítica;
- Visualizar o funcionamento de um reator nuclear de fissão;
- Relacionar o número de fissões com a energia produzida no processo.

DESENVOLVIMENTO

As simulações utilizadas nesta aula estão disponíveis em https://phet.colorado.edu/pt_BR/.

Nos minutos iniciais, com a finalidade dos estudantes se familiarizarem com o simulador, foi proposto que explorassem as possibilidades de simulação sem intervenção por parte do professor.

Em seguida, foi iniciada uma série de três simulações, descritas na sequência.

SIMULAÇÃO 1 – DECAIMENTO BETA

Na primeira parte do procedimento, realizou-se o decaimento beta para um único átomo de deutério, repetindo a emissão de átomos algumas vezes, sugestão entre 15 e 20 vezes. Este procedimento foi repetido, substituindo-se, no entanto, os átomos de deutério por átomos de carbono-14. Sugere-se neste caso também uma repetição de 15 a 20 vezes, atentando-se, nos dois casos, para os tempos de decaimentos representados na parte superior do simulador, como pode ser visto na tela a seguir.

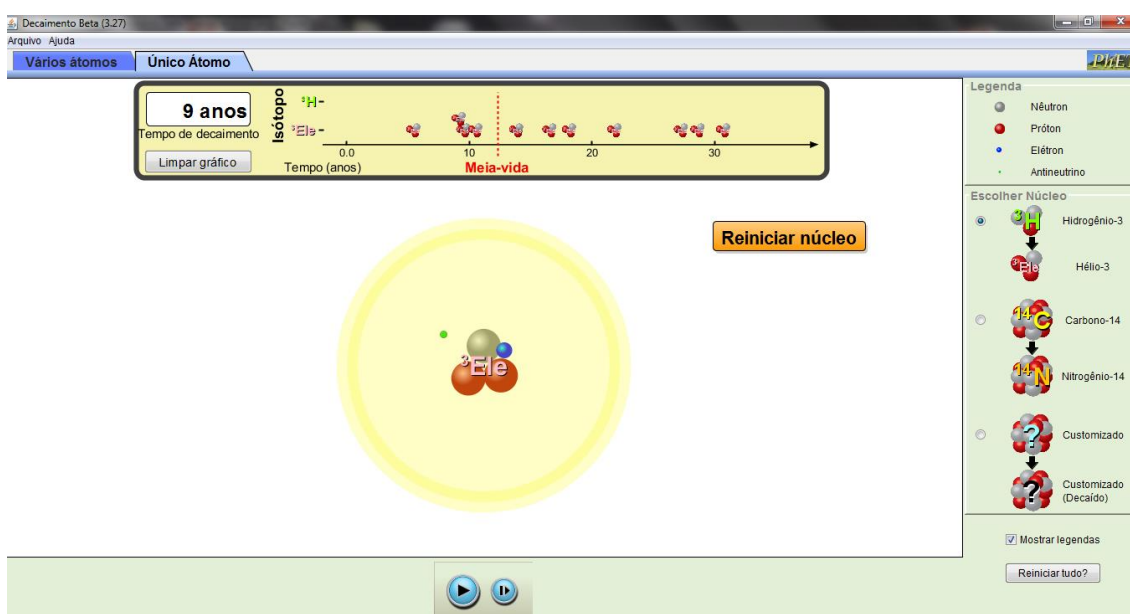


Figura 4.4. Decaimento Beta – Único Átomo

Na segunda parte do procedimento, foi utilizado o recurso de decaimento beta para vários átomos.

Nesta simulação, os tempos de decaimento para cada átomo, que fora observado na primeira parte, agora é visto simultaneamente ocorrendo, ficando clara assim a diferença no tempo de decaimento dos átomos que compõe uma amostra

do material. É possível ter uma noção clara do significado de meia vida, além de concluir que não se é possível prever qual átomo sofrerá decaimento na sequência, demonstrando então o caráter aleatório dos decaimentos.

Abaixo, segue tela do simulador para vários átomos.

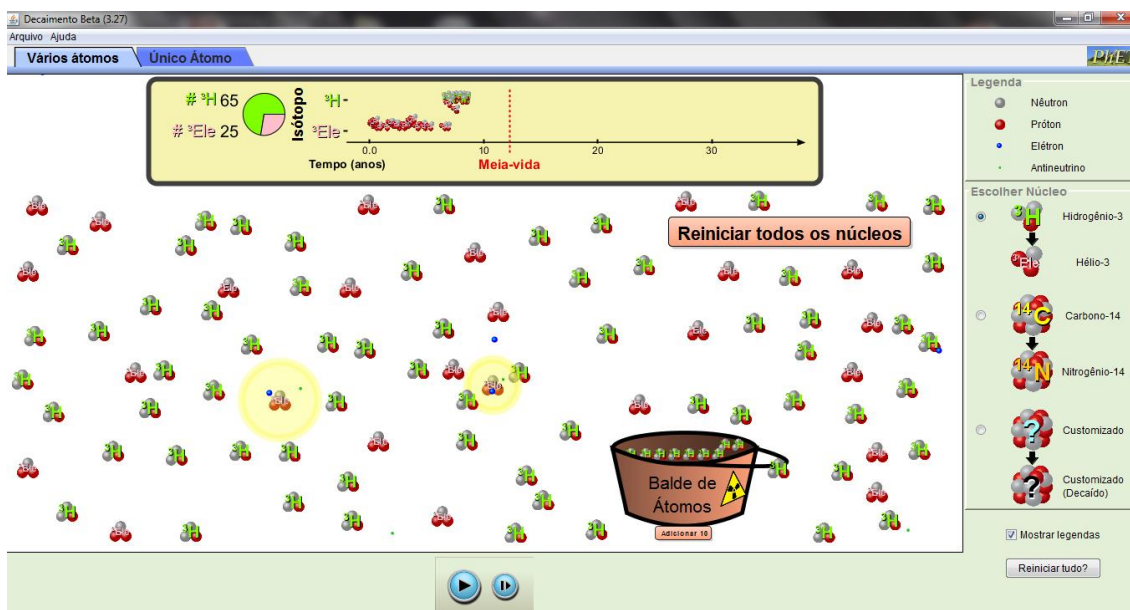


Figura 4.5. Decaimento Beta – Vários Átomos

SIMULAÇÃO 2 – DECAIMENTO ALFA

Os procedimentos na realização desta simulação são semelhantes aos anteriores.

Na primeira parte do procedimento, o decaimento alfa é realizado para um único átomo de Polônio-211, sendo repetida a emissão de átomos algumas vezes, sugestão aqui também entre 15 e 20 vezes. Nesta simulação é preciso estar atento a duas informações, a primeira delas considerada aqui mais relevante, pelo próprio objetivo da atividade, é o tempo de decaimento mostrado na parte superior da tela de simulação. A outra informação observada é um gráfico na parte inferior da tela, mostrando a energia da partícula alfa.

Esta tela é vista na figura a seguir.

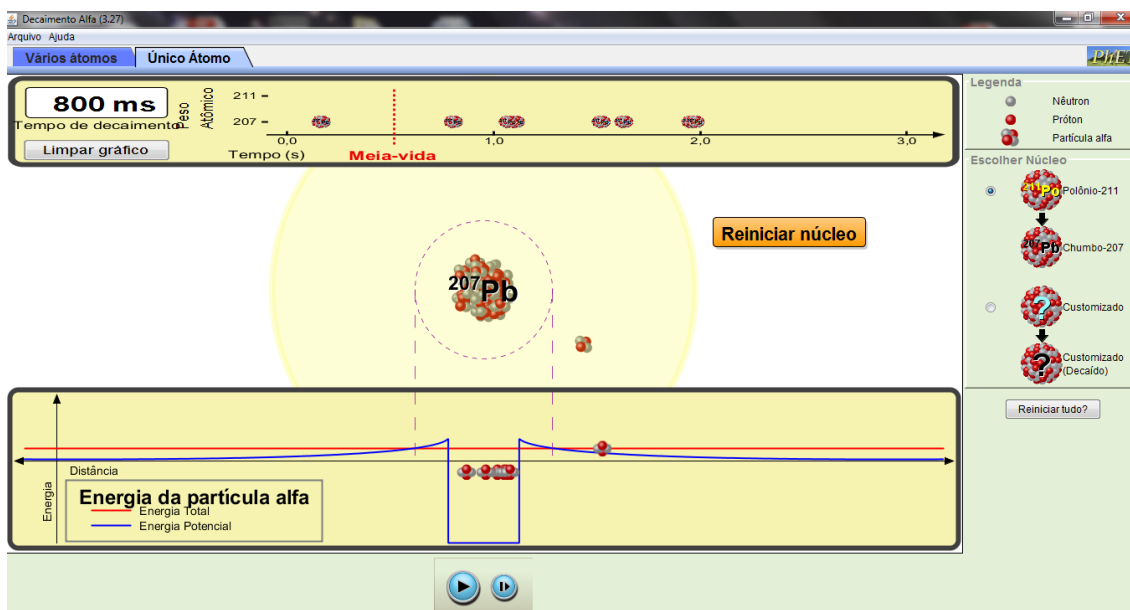


Figura 4.6. Decaimento Alfa – Único Átomo

Na segunda parte do procedimento, foi utilizado o recurso de decaimento alfa para vários átomos.

Este evento também se assemelha ao observado nos decaimentos beta com vários átomos.

Relacionou-se, então, a observação simulada com os fenômenos estudados nas aulas anteriores. Foi possível observar o tempo de decaimento entre os átomos, estabelecendo-se o conceito de meia vida de um elemento. Além disso, retomando as discussões relacionadas à existência dos diferentes isótopos de um mesmo elemento, ficou evidente, a partir desta observação o caráter aleatório dos decaimentos.

Uma possível variação da simulação, pode ser utilizada tanto nos decaimentos alfa com vários átomos como nos beta.

Após iniciada a simulação, já com alguns átomos tendo sofrido decaimento, solicitou-se aos alunos que dessem pausa na simulação e tentassem adivinhar qual será o próximo átomo a sofrer decaimento. As chances de acerto seriam pouco prováveis, demonstrando com isso a imprevisibilidade dos decaimentos individuais, podendo-se apenas prever com considerável precisão o decaimento da amostra.

Abaixo, segue tela do simulador para vários átomos.

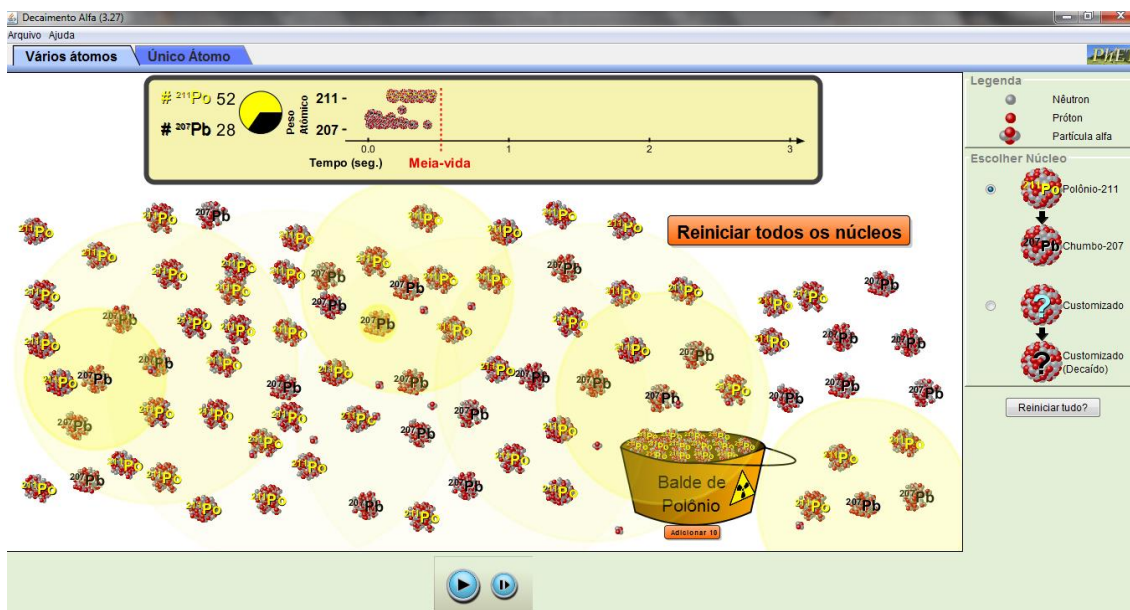


Figura 4.7. Decaimento Alfa – Vários Átomos

SIMULAÇÃO 3 – FISSÃO NUCLEAR

Esta simulação é dividida em três partes.

Primeira parte – Fissão: Um núcleo

O procedimento nesta simulação foi bastante simples. O núcleo físsil utilizado é o Urânio-235. Contra ele é disparado um nêutron a partir do canhão de nêutrons. No momento em que o núcleo absorve o nêutron, foi possível observar, no gráfico situado na parte inferior da tela de simulação, um na sua energia, deixando-o ainda mais instável. Em poucos segundos, o núcleo sofreu fissão, transmutando-se em dois núcleos filhos além da liberação de três nêutrons.

Quando analisada a fissão de um núcleo individual, os nêutrons livres não aparentaram grande importância além da energia que carregam. No entanto, esta importância ficou evidente na reação em cadeia.

A seguir, temos a tela da simulação descrita.

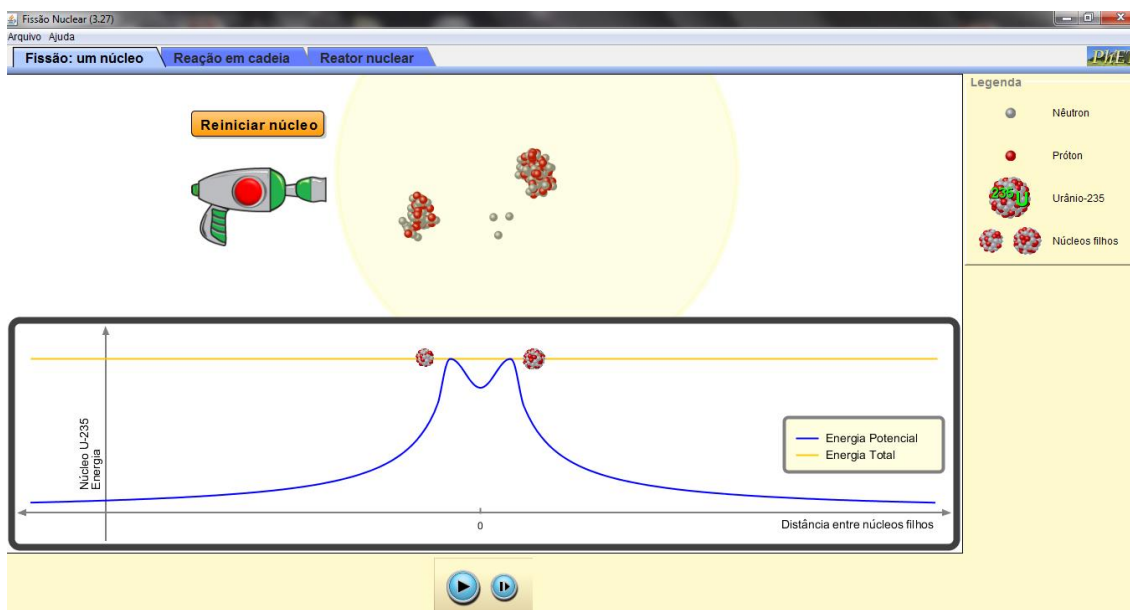


Figura 4.8. Fissão Nuclear – Um Núcleo

Segunda parte – Reação em cadeia

Esta simulação trás inúmeras combinações possíveis. Foram exploradas as que se identificou como mais relevantes. São disponibilizados núcleos de Urânio 235 e 238.

No primeiro momento, foram utilizados núcleos de Urânio-238. Estes podem ser acrescentados à tela principal a partir de uma ferramenta de controle do lado direito do simulador.

Disparando um nêutron sobre a amostra, observou-se que apenas um núcleo absorveu o nêutron, não ocorrendo nenhuma reação a partir de disso.

Quando substituiu-se estes núcleos por outros de Urânio-235 e disparou-se um nêutron, por ser físsil, este liberou outros três nêutrons, que foram absorvidos por outros três núcleos, que também se fissionaram, liberando outros três nêutrons e assim por diante, dando continuidade a reação em cadeia até que todos os núcleos da amostra fossem fissionados.

Selecionando, a seguir, uma câmara de contenção, variando suas dimensões de modo a comportar um número reduzido de U-235, disparou-se o canhão de nêutrons e, observou-se que a reação em cadeia ocorreu até o último núcleo sofrer fissão, então a reação cessou.

Aumentando as dimensões da câmara de modo a comportar um número elevado de U-235 e disparando um nêutron, os núcleos sofreram fissão e o processo foi finalizado com a representação de uma explosão atômica.

A seguir, temos a tela de uma das simulações descritas, aquela na qual foi utilizada a câmara de contenção.

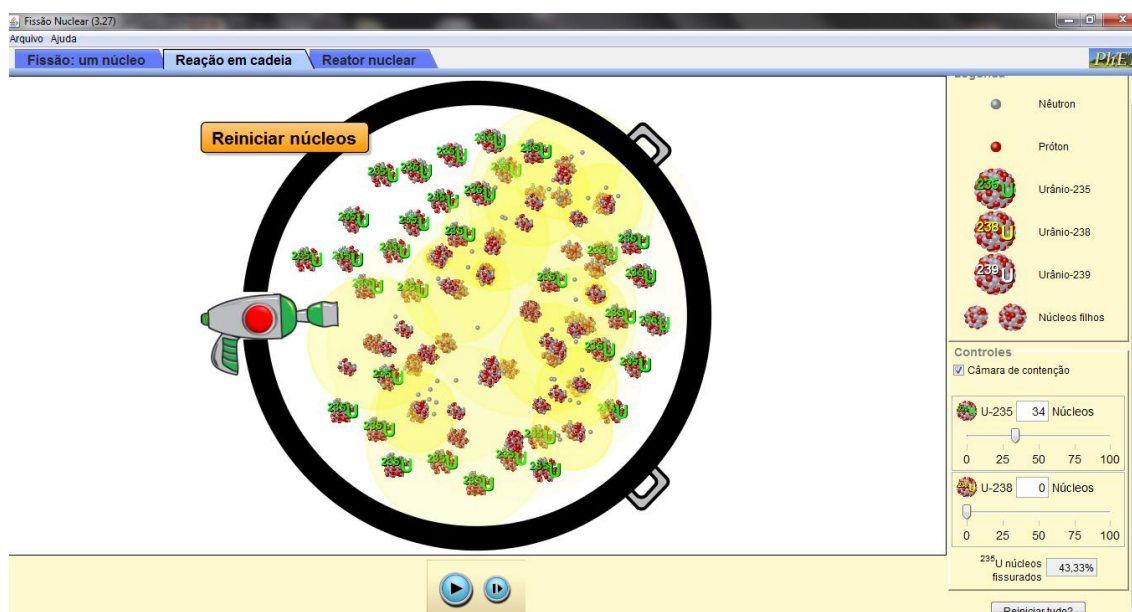


Figura 4.9. Reação em cadeia do U-235 com câmara de contenção

Terceira parte – Reator Nuclear

Esta simulação representa o funcionamento de um reator nuclear. É possível explorar alguns fenômenos importantes empregados nas usinas nucleares.

Durante o funcionamento do reator, três informações são atualizadas em tempo real, apesar de não trazerem escalas de medidas, são representações gráficas para uma análise qualitativa. São elas a temperatura do reator, que varia de acordo com a intensidade das reações, além de informações sobre a energia produzida por segundo e a total.

No primeiro momento, disparou-se um nêutron sem retirar as barras controladoras. Foi possível observar que a reação cessou em poucos instantes, pois os nêutrons responsáveis pela reação em cadeia foram absorvidos pelas barras.

No segundo momento, retirou-se as barras e disparou-se um nêutron. Observou-se que a reação foi contínua. É possível controlar a reação subindo ou

descendo as barras controladoras. Esse controle pode ser observado nos gráficos de energia total e de saída, além da temperatura do reator.

A seguir, temos a tela da simulação descrita.

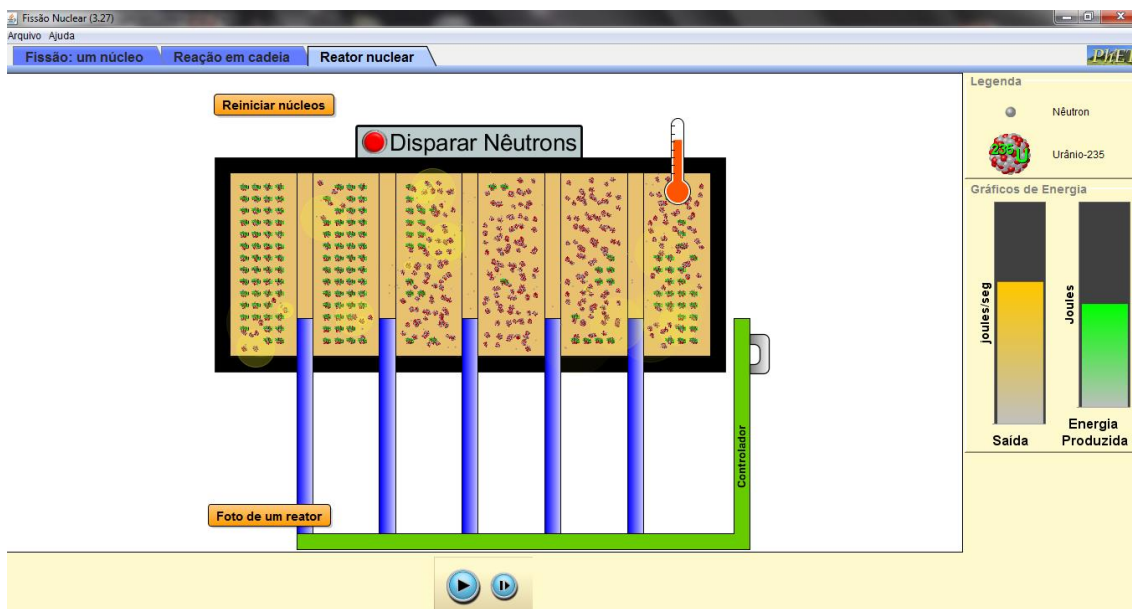


Figura 4.10. Reator Nuclear

ANÁLISE

De toda a sequência didática proposta neste trabalho, esta foi, sem dúvida, a aula em que os alunos mais se empolgaram. Em todas as simulações e a todo o momento, verificou-se exclamações, observações, comentários, em sua maioria, relacionando os fenômenos observados nas simulações com os conceitos estudados nas aulas anteriores.

Todas as discussões e análises propostas na atividade foram amplamente atingidas. Em uma ou outra questão houve êxito em responder o que lhes era questionado, porém, com pequenas intervenções do professor, a compreensão do fenômeno ocorreu plenamente.

A abordagem abriu precedente para questionamentos sobre o uso de outra fonte de energia nuclear, no caso, a proveniente da fusão, justamente por esta, além de não deixar resíduos radioativos, sua energia liberada ser muito maior do que ocorre na fissão.

Fez necessário, então, uma retomada da aula anterior, onde fora discutido o uso dos reatores de fusão e as limitações da reação em cadeia nos processos controlados em um reator.

Registros fotográficos desta atividade encontram-se no Apêndice C.

AULA 08

CONTEÚDO

- ✓ Discussão com base no texto: Energia Nuclear: Risco ou oportunidade

OBJETIVOS

- Discutir a matriz energética no Brasil;
- Formular um pensamento crítico sobre o uso de reatores nucleares na geração de energia elétrica;
- Discutir a potencial letalidade da radiação liberada no interior do reator;
- Identificar o avanço tecnológico no uso da energia nuclear;
- Contrastar os pontos positivos e negativos no uso deste tipo de energia;

DESENVOLVIMENTO

O texto “ENERGIA NUCLEAR: RISCO OU OPORTUNIDADE?” publicado pelo Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado, de autoria de Edmundo Montalvão, engenheiro eletricista, consultor legislativo do Senado Federal, Núcleo de Economia, Área de Minas e Energia e disponível em

<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-108-energia-nuclear-risco-ou-oportunidade>

foi disponibilizado aos estudantes para uma leitura prévia, extraclasse, para um posterior debate sobre as discussões contidas nele.

De maneira geral, o texto trata de aspectos importantes no que concerne um posicionamento a respeito do uso da energia nuclear.

O texto inicia com a apresentação da evolução da matriz energética brasileira. Nele são demonstrados, através de dados e gráficos como o Brasil tem explorado suas reservas energéticas para a produção de energia elétrica. Dados

estes, inclusive, sobre projeções brasileiras na redução do uso de combustíveis fósseis em detrimento de um aumento da participação de energias renováveis e termonucleares.

Ele traz informações importantes sobre as reservas brasileiras de urânio, ainda pouco exploradas e outras tantas potencialmente existentes. Outra informação importante trata da tecnologia brasileira no domínio do enriquecimento do urânio, sendo o Brasil um dos poucos países do mundo capaz de realizá-lo.

Diante do receio da sociedade, não poderia faltar um debate sobre os acidentes nucleares. Ele faz referência a três deles: Three Mile Island, Fukushima e Chernobyl. Esta última, amplamente discutida, incluindo-se aí pesquisas realizadas pelos Doutores Baker e Chesser sobre a variação molecular em organismos expostos à radiação de Chernobyl.

O texto conclui com uma entrevista do Dr James Lovelock concedida a revista Superinteressante, em dezembro de 2004.

A partir do texto analisado, a prática pedagógica adotada foi uma discussão na forma de mesa redonda. Nela os alunos foram estimulados a assumir uma posição frente ao exposto. Foi tomado cuidado para que esta posição ocorresse através de embasamento teórico/científico, afastando-se de conclusões de conhecimento do senso comum.

ANÁLISE

Nesta aula, como conclusão da sequência didática proposta pelo presente trabalho, reservou-se para discussão aprofundada sobre o uso da energia nuclear.

As discussões ocorreram de forma consciente, sendo esta defendida por alguns, condenada por outros, porém, todas de acordo com um posicionamento crítico, algo que fora proposto desde a primeira aula.

Desta forma, podemos concluir que os objetivos fundamentais da proposta, aqueles relacionados à formação do cidadão, ativo na sociedade, foram atingidos. Além disso, foi oportunizado, a todos os alunos, a posição de protagonistas na construção do seu conhecimento no processo ensino-aprendizagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para realização deste trabalho, tínhamos como justificativa inicial a abordagem de conteúdos de Física Nuclear por entendermos que, além de interessante, apresenta alto grau de relevância, principalmente pelo elevado número de aplicações decorrentes do seu uso.

Destacamos, no entanto que, durante o desenvolvimento do trabalho, mesmo diante da relevância do tema, encontramos um número expressivamente reduzido de publicações que tratam da inserção de tais conteúdos no Ensino Médio.

Além disto, analisando conversas com professores e algumas publicações sobre a inserção de temas de Física Nuclear no programa do Ensino Médio, verificou-se que, apesar da demonstração do interesse da inclusão destes conteúdos por parte dos educadores, isto ocorre ainda de forma reduzida, sob diversas justificativas, como a falta de domínio destes conteúdos, o que gera insegurança no desenvolvimento do trabalho; a complexidade de tais conteúdos; além do extenso programa de Física do Ensino Médio em relação à carga horária disponível, gerando, desta forma, uma falta de tempo para cumprir o programa proposto.

Diante das justificativas apresentadas, percebemos a importância de uma análise dos livros didáticos adotados pelas escolas, distribuídos pelo PNLD, uma vez que, historicamente no Brasil, tem-se por base na seleção dos conteúdos, as sequências didáticas regidas por eles.

Dentre os livros disponíveis para as escolas, apenas um deles trata de conteúdos de Física Nuclear já na primeira unidade do volume 3 e, das 1482 escola Públicas de Ensino Médio do Estado do Paraná, apenas nove adotaram este livro. Este fato reforça a justificativa de falta de tempo no comprimento do programa apresentada por professores, pois, nos demais, Física Nuclear é tratada apenas nos últimos capítulos, senão o último.

Diante disto, desenvolvemos uma sequência didática, onde abordamos Tópicos de Física Nuclear a partir de uma contextualização histórica, social, cultural e política, pois, estes fatores apresentam forte influência sobre os caminhos trilhados pela Ciência, uma vez que ela é produto de uma evolução humana e, devido a tal interferência, não ocorre de forma neutra.

Na aplicação da sequência didática, a participação dos estudantes ocorreu de acordo com nossas expectativas. Eles realizaram as atividades propostas com ânimo, participação e dedicação.

Na realização das atividades em grupo, a participação foi contínua e ativa de todos os integrantes do grupo, o que pode ser verificado através dos registros fotográficos disponíveis nos apêndices A, B e C.

Atividades individuais também foram propostas dentro da sequência didática, como a leitura prévia de texto selecionado para discussão. Estas atividades foram importantes, pois, para haver uma discussão crítica frente ao problema apresentado, se faz necessário o conhecimento do tema e, diante da proposta do desenvolvimento do tema, o estudante deveria perceber a influência da Ciência e Tecnologia sobre a sociedade na qual ele se insere.

Destacamos, ainda, que em alguns temas em especial, como nas reações nucleares de fusão, fissão e reação em cadeia, o interesse foi notável. Perguntas, comentários, debates, questionamentos ocorreram a todo instante.

Com isso, uma expectativa maior formou-se para a realização das atividades de simulação, pois elas teriam por objetivo uma melhor assimilação dos processos de reações nucleares tratados anteriormente. Estas atividades foram questionadoras e participativas, acarretando com isso uma apreensão dos conteúdos de acordo com a prévia projeção.

Concluimos este trabalho com êxito, uma vez que, apesar de tratar de temas com alto grau de complexidade, tanto matemático como conceitual, é possível desenvolver o trabalho de maneira que o estudante compreenda os fenômenos relacionados à Física Nuclear, mas, acima disso, seja capaz de, a partir de uma compreensão científica, seja capaz de posicionar-se frente à Ciência e Tecnologia e o papel inerente a ela diante da sociedade.

Devido à extensão de conteúdos e fenômenos apresentados pela Física Nuclear, não seria possível esgotá-los todos. Deixamos, então, como sugestão para futuros trabalhos, outros temas que discutam sua aplicação, como na Física Médica, Militar, entre outros.

REFERÊNCIAS

ANGOTTI, J. A. P.; AUTH, M. A. Ciência e tecnologia: implicações sociais e o papel da educação. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 1, p. 15-27, 2001. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v7n1/02.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

ANGOTTI, J. A. P.; BASTOS, F. P.; MION, R. A. Educação em física: discutindo ciência, tecnologia e sociedade. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 183-197, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v7n2/04.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PhET. **Física na Escola**, S/l, v. 11, n. 1, p.27-31, abr. 2010. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num1/a08.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. **Física**: 3. 1 ed. Curitiba: Positivo, 2013.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v7n1/01.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

BALTHAZAR, W. F. **Compreensões de professores e licenciandos com relação à abordagem de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Nilópolis, 2008. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/305129/mod_resource/content/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Wagner%20Franklin%20Balthazar.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2016.

BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.. **Física 3**: Eletricidade, física moderna e análise dimensional. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

BONJORNIO, J. R. et al. **Física: eletromagnetismo, física moderna**: 3º ano. 2 ed. São Paulo: FTD, 2013.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais/Secretaria de Educação Fundamental**. Brasília: MEC/SEF, 1998. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do Ensino de Ciências**. 2 ed. São Paulo: Cortez, 1994. (Coleção magistério 2º grau. Série formação do professor).

FERREIRA, A. R. **Compreensões de professores e licenciandos com relação à abordagem de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 2012. 17 f. TCC (Graduação em Física) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em:

<<https://www.ucb.br/sites/100/118/TCC/1º2012/CompreensoesdeProfessoreseLicenciandosco.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2016.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, 2003.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**: 3 Eletromagnetismo e Física Moderna. 2 ed. São Paulo: Ática, 2013.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física**: Interação e tecnologia, volume 3. 1 ed. São Paulo: Leya, 2013.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física**. 1 ed. São Paulo: Ática, 2013. 408 p.

LUZ, A. M. R.; ALVARENGA, B. **Física contexto & aplicações**: ensino médio - 3. 1 ed. São Paulo: Scipione, 2013.

MACÊDO, J. A.; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S. F. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, p. 562-613, 2012. Disponível em:

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp1p562/22936>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

MENEZES, L. C. et al. **Quanta Física**: 3º ano. 2 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

OLIVEIRA, M. P. P. et al. **Física: conceitos e contextos**: pessoal, social, Histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria: 3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica- Física**. Paraná, 2008.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5274182>>. Acesso em: 15 mai. 2016.

PINHO-ALVES, J; PINHEIRO, T. F. **Instrumentação para o Ensino de Física A**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2010.

SANCHES, M. B. **A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: QUAL SUA PRESENÇA EM SALA DE AULA?**. 2006 112 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006. Disponível em:

<http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/fisica/dissertacoes/fisica_moderna.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2016.

SANT'ANNA, B. et al. **Conexões com a Física: 3 Eletricidade - Física no século XXI**. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2013.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/epec/v2n2/1983-2117-epec-2-02-00110.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

SHINOMIYA, G. K; RICARDO, E. C. Os saberes e as práticas docentes e a inovação curricular: dificuldades para o ensino da física moderna no ensino médio. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE, 6., 2012, São Cristóvão. p. 01-11, Disponível em: <http://educonse.com.br/2012/eixo_06/PDF/43.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2016.

SILVA, C. X.; BARRETO FILHO, B. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna**. 2 ed. São Paulo: FTD, 2013. 3 v. (Coleção Física aula por aula v. 3).

SOUZA FILHO, G. F. **Simuladores computacionais para o ensino de física básica: uma discussão sobre produção e uso**. 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2010_Geraldo_Felipe/dissertacao_Geraldo_Felipe.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2016.

SOUZA, M. A. M.; DANTAS, J. D.. Fenomenologia Nuclear: Uma Proposta Conceitual Para o Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 1, p.137-158, abr. 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n1p136/12405>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

STEFANOVITS, A. et al (Ed.). **Ser Protagonista: Física, 3º ano: ensino médio**. 2 ed. São Paulo: Edições SM, 2013. Obra concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM.

STRIEDER, R. B.; KAWAMURA, Maria Regina. Panorama das pesquisas pautadas por abordagens CTS. **VII Encontro Nacional de Pesquisa no Ensino de Ciências**. Florianópolis, Anais eletrônicos... ABRAPEC, 2009. Disponível em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viiienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/463.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Física - Ciência e Tecnologia**: volume 3 - eletromagnetismo, Física Moderna. 3 ed. São Paulo: Moderna, 2013.

YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. **Física para o Ensino Médio 3**. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

**APÊNDICE A – Registro fotográfico da atividade desenvolvida nas aulas 01 e
02**



APÊNDICE B – Registro fotográfico da atividade desenvolvida na aula 05



APÊNDICE C – Registro fotográfico da atividade desenvolvida na aula 07





ANEXO – Produto Educacional – FÍSICA NUCLEAR E SOCIEDADE

PRODUTO EDUCACIONAL



Josicarlos Peron

André Vitor C. Andrade

**PONTA GROSSA
2016**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA - UEPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENSINO DE
FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF

FÍSICA NUCLEAR E SOCIEDADE

Josicarlos Peron
André Vitor Chaves de Andrade

PONTA GROSSA
2016

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	85
LIVRO DO PROFESSOR.....	86
INTRODUÇÃO.....	87
FÍSICA NUCLEAR.....	89
DIMENSÃO E FORMA DO NÚCLEO.....	90
ENERGIA DE LIGAÇÃO.....	90
RADIOATIVIDADE.....	91
DECAIMENTO GAMA.....	92
DECAIMENTO ALFA.....	92
DECAIMENTO BETA.....	93
FISSÃO NUCLEAR.....	94
FUSÃO NUCLEAR.....	95
ORIENTAÇÕES METODOLÓGICAS.....	96
LIVRO TEXTO.....	107
DO QUE AS COISAS SÃO FEITAS?.....	108
RUMO AO NÚCLEO ATÔMICO.....	115
RAIOS, ÓH RAIOS!.....	117
RADIOATIVIDADE.....	119
MEIA VIDA DE UM ELEMENTO.....	119
DECAIMENTO GAMA.....	120
DECAIMENTO ALFA.....	121
DECAIMENTO BETA.....	121
ATIVIDADE PROPOSTA – “CAIXA DE ÁTOMOS”.....	123
FISSÃO E FUSÃO.....	125
FISSÃO NUCLEAR.....	125
REATORES NUCLEARES DE FISSÃO.....	127
FUSÃO NUCLEAR.....	128
ATIVIDADE PROPOSTA – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	131
SIMULAÇÃO 1 – DECAIMENTO BETA.....	131

SIMULAÇÃO 2 – DECAIMENTO ALFA.....	133
SIMULAÇÃO 3 – FISSÃO NUCLEAR.....	135
REFERÊNCIAS.....	139

APRESENTAÇÃO

Caro professor,

Sobre o desafio apresentado no ensino de Física, Pinho e Pinheiro (2010) expõem as diferenças entre “dar aula” e “Ensinar Física”.

Lembre-se que “dar aula” qualquer pessoa, a princípio, pode fazê-lo, pois basta repetir o livro. “Ensinar Física” é um pouco mais difícil, pois implica ensinar a pensar o mundo de uma forma particular, isto é, utilizando as ferramentas da Ciência e compreendendo as suas limitações. Para isto, é necessário, além de saber muito de Física, saber como podemos sensibilizar nosso aluno a aceitar e gostar de Física.

Refletindo sobre esta citação, não tivemos por objetivo desenvolver um material onde o ferramental matemático ocupasse lugar de destaque, apesar de ele estar presente, porém, de forma bastante reduzida, uma vez que a finalidade do presente trabalho é o estudo dos fenômenos físicos relacionados ao tema, segundo uma abordagem fundamentalmente conceitual, onde priorizamos as discussões e atividades em grupo, a fim de motivar o estudante no interesse pela ciência como também desenvolver sua consciência crítica objetivando a formação integral de um cidadão ativo na sociedade.

Sendo assim, este material pedagógico foi idealizado, planejado e produzido com uma sequência didática sobre Física Nuclear a ser desenvolvida em oito aulas de cinquenta minutos com turmas de Ensino Médio, sem haver, no entanto, a obrigatoriedade de conhecimentos prévios de conceitos de Física, pois o material apresenta todos os conceitos necessários para o desenvolvimento do tema.

O presente material faz uma abordagem de Física Nuclear de maneira contextualizada historicamente e cientificamente, através do texto, produzido pelo deste trabalho, aliado ao uso de modelos e simulações computacionais para uma melhor compreensão dos fenômenos estudados.

Não apresentamos este material como um produto que deva ser rigidamente seguido, mas que possa ser adaptado e utilizado de acordo com as especificidades da realidade na qual professor e aluno estão inseridos.

Os autores

LIVRO DO PROFESSOR

INTRODUÇÃO

A concepção humanista de ensino proposta por Paulo Freire concebe o aluno como um ser agente na construção do seu conhecimento, tornando-lhe, assim, o protagonista desta construção. Nesta concepção de ensino, diferentemente do ensino tradicionalista, o professor tem o papel de facilitador na sala de aula, auxiliando o estudante no seu desenvolvimento educacional.

Não cabe nesta proposta, o professor como protagonista, que detém todo o conhecimento a ser puramente despejado sobre o estudante. A este modelo de ensino, Freire chama de educação bancária, onde o professor é visto como o depositário do conhecimento em que o aluno o recebe passivamente.

Na visão “bancária” da educação, o “saber” é uma doação dos que se julgam sábios aos que julgam nada saber. Doação que se funda numa das manifestações instrumentais da ideologia da opressão – a absolutização da ignorância, que constitui o que chamamos de alienação da ignorância, segundo a qual esta se encontra sempre no outro.

O educador, que aliena a ignorância, se mantém em posições fixas, invariáveis. Será sempre o que sabe, enquanto os educandos serão sempre os que não sabem. A rigidez destas posições nega a educação e o conhecimento como processos de busca.” (FREIRE, 2005, p. 67)

Nesta proposta, o estudante abandona sua posição alienada de um ser ignorante que reconhece no professor o agente necessário, cuja existência é justificada pela própria ignorância do estudante. Assim, quando o aluno reconhece-se como personagem principal no processo ensino-aprendizagem, permite-se, desta forma, que sua consciência crítica acerca do mundo que o rodeia aflore. Isto, no entanto, só será possível através da concepção de uma educação libertadora.

Estando as ações humanas intrinsecamente relacionadas com a compreensão de mundo, torna-se necessário, então, que o estudante tenha formação completa como cidadão do mundo para o mundo. Cabe, assim, a escola, e por extensão ao professor, a responsabilidade por tal formação, não apenas transmitindo conhecimento, mas possibilitando que sua construção ocorra.

Neste sentido, entendemos, então, que o ensino de Física na escola média tem papel importante na formação do cidadão.

Entende-se, então, que a Física, tanto quanto as outras disciplinas, deve educar para a cidadania e isso se faz considerando a dimensão crítica do conhecimento científico sobre o Universo de fenômenos e a não-neutralidade da produção desse conhecimento, mas seu comprometimento e envolvimento com aspectos sociais, políticos, econômicos e culturais. (PARANÁ, 2008, p. 50)

Desta forma, o presente material foi idealizado e desenvolvido, pensando na importante posição da Física Nuclear e suas aplicações. A abordagem foi estruturada dentro de uma contextualização histórica e científica, priorizando aulas dialógicas, tendo em vista a formação de um cidadão crítico frente à sociedade.

FÍSICA NUCLEAR¹

O núcleo atômico é composto apenas por prótons e nêutrons, cujas massas são aproximadamente iguais, sendo a massa do nêutron em torno de 0,2% maior que a do próton. Este último possui carga elétrica positiva, de módulo igual à carga do elétron ($|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$), enquanto que o nêutron não apresenta carga elétrica.

A soma do número de prótons Z e nêutrons N nos fornece o número de massa A de um núcleo, assim, temos $A = Z + N$. No entanto, a identidade do núcleo é dada pelo seu número de prótons Z , chamado de número atômico. Em geral, núcleos leves apresentam aproximadamente o mesmo número de prótons e nêutrons, porém, para núcleos mais pesados, o número de nêutrons será maior.

Elementos que apresentam mesmo número Z , mas com diferentes números N são chamados *isótopos* de um elemento.

No interior do núcleo, os núcleons² são atraídos por uma força de atração de grande intensidade, porém, de alcance pequeno, chamada de *interação nuclear forte*. Uma comparação entre as forças fundamentais pode ser observada no quadro abaixo.

TIPO	INTENSIDADE DA FORÇA	ALCANCE
Interação nuclear forte	~ 20	Curto
Força eletromagnética	~ 1	Longo (Lei do inverso do quadrado da distância)
Interação nuclear fraca	$\sim 10^{-7}$	Curto
Força gravitacional	$\sim 10^{-36}$	Longo (Lei do inverso do quadrado da distância)

Comparação entre as interações fundamentais³

¹ TIPLER; MOSCA, 2006, p. 210-233.

² Termo que se refere a partículas nucleares (prótons e nêutrons)

³ Adaptado de: AVANCINI; MARINELLI, 2009, p. 50

O quadro acima compara a interação entre dois prótons no interior do núcleo, utilizando como referência a força eletromagnética⁴.

Pode-se observar, então, que força de atração gravitacional no interior do núcleo é desprezível. Com relação à força eletromagnética, os nêutrons, por não possuírem carga elétrica, não apresentam tal interação, porém, os prótons apresentam repulsão eletromagnética, mas esta muito menor que a interação forte, podendo assim ser desprezada.

DIMENSÃO E FORMA DO NÚCLEO

Diversos experimentos podem ser utilizados para determinar a dimensão e a forma de um núcleo, como por exemplo, o bombardeamento por partículas de alta energia, observando-se então o seu espalhamento. Na sua grande maioria, os experimentos apontam para uma forma esférica do núcleo, cujo raio pode ser obtido com boa aproximação a partir da equação:

$$R = R_0 A^{1/3} \quad (1)$$

Em que $R_0 \approx 1,2 \text{ fm}$ e $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

Pode-se concluir também que, se o volume nuclear e sua massa são proporcionais a A , as massas específicas dos núcleos são aproximadamente idênticas.

ENERGIA DE LIGAÇÃO

Quando dois ou mais núcleons se combinam para formar um núcleo a massa total do núcleo é menor do que a soma das massas dos núcleons⁵. A diferença dessa massa se transforma na energia responsável por manter os prótons e nêutrons ligados no núcleo. Esta energia pode ser expressa pela seguinte equação, proposta por Einstein.

$$E = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - m_A)c^2 \quad (2)$$

⁴ Adaptado de: AVANCINI; MARINELLI, 2009, p. 50

⁵ SANTOS, 2007, p. 24

Onde:

m_p = massa do próton = 1,007825 u

m_N = massa do nêutron = 1,008665 u

m_A = massa atômica do núcleo

c = velocidade da luz no vácuo

1u (unidade de massa atômica) = $1,66 \cdot 10^{-27}$ kg

RADIOATIVIDADE

Núcleos instáveis podem sofrer decaimento em outros núcleos. Estes decaimentos radioativos podem ocorrer pela emissão de três tipos de radiação:

- Núcleos de Hélio, denominadas partículas alfa (α)
- Partículas beta, que podem ser elétrons (β^-) ou pósitrons (β^+)
- Radiação eletromagnética, denominada de radiação gama (γ),

Considerando N_0 o número de núcleos radioativos no instante $t = 0$, e também que individualmente ocorre um decaimento aleatório, no decorrer do tempo, o número N sofrerá redução de acordo com a equação:

$$N = N_0 e^{-t/\tau} \quad (3)$$

Onde τ é uma constante denominada de *vida média*.

A equação acima pode ser escrita

$$N = N_0 e^{-\gamma t} \quad (4)$$

Em que $\gamma = 1/\tau$ é a constante de decaimento.

O tempo necessário para que metade da amostra sofra decaimento é chamado de *meia vida* $\tau_{1/2}$

Temos então que

$$\tau_{1/2} = \tau \ln 2 \quad (5)$$

O número de decaimentos por segundo caracteriza a atividade radiativa R da amostra. No Sistema Internacional de Unidades, temos que 1 becquerel (Bq) equivale a uma desintegração por segundo.

A representação formal da atividade pode ser expressa pela equação:

$$R = -\frac{dN}{dt} \quad (6)$$

A partir da derivada da equação (6) temos

$$R = \gamma N_0 e^{-\gamma t} \quad (7)$$

Então

$$R = \gamma N \quad (8)$$

A partir da equação (8), temos que

$$R_0 = \gamma N_0 \quad (9)$$

Desta forma

$$R = R_0 e^{-\gamma t} \quad (10)$$

DECAIMENTO GAMA

Considerando um elemento A_ZX , caso sofra um decaimento gama, ele não sofre alteração no seu número atômico Z e nem no seu número de massa A . Ocorre apenas a emissão de um fóton, decaindo, desta forma, de um estado de maior excitação para um estado de energia mais baixo.

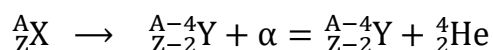
DECAIMENTO ALFA

Em núcleos pesados, com grande número de nêutrons, em geral, com $Z > 83$, apresentam pelo menos um isótopo radioativo, porém, dependendo do elemento, todos os seus isótopos serão radioativos.

Neste tipo de decaimento, o isótopo instável emite dois prótons e dois nêutrons, transmutando-se, desta forma em outro núcleo, chamado de núcleo filho. Esta emissão é a chamada emissão α , sendo esta partícula nada mais do

que um núcleo de Hélio (${}^4_2\text{He}$). Desta forma, em relação ao núcleo original (núcleo pai), o núcleo filho apresentará o número atômico Z duas unidades menor e o número de massa A quatro unidades menor.

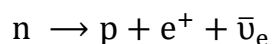
Considerando um elemento ${}^A_Z\text{X}$, sua emissão alfa pode ser analisada de acordo com a expressão



DECAIMENTO BETA

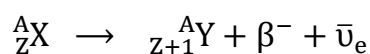
Este tipo de decaimento ocorre quando um núcleo instável adquire estabilidade com a alteração da diferença entre o seu número de prótons e nêutrons.

Em uma emissão β^- , um nêutron se transforma em um próton, emitindo com isso um elétron e um antineutrino (antipartícula do neutrino).

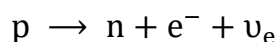


Nesta reação o núcleo terá seu número atômico Z aumentado em uma unidade.

Considerando um elemento ${}^A_Z\text{X}$, sua emissão beta pode ser analisada de acordo com a expressão

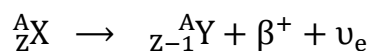


No caso de uma emissão β^+ , um próton se transforma em um nêutron, emitindo com isso um pósitron (antipartícula do elétron) e um neutrino.

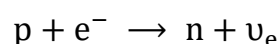


Nesta reação o núcleo terá seu número atômico Z diminuído em uma unidade.

Considerando um elemento A_ZX , sua emissão beta pode ser analisada de acordo com a expressão

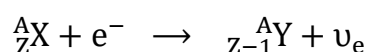


O terceiro tipo de reação beta é a chamada captura eletrônica, em que um elétron é capturado por um próton, transformando-se, então em um nêutron.



Nesta reação o núcleo terá seu número atômico Z diminuído em uma unidade.

Considerando um elemento A_ZX , a captura eletrônica pode ser analisada de acordo com a expressão



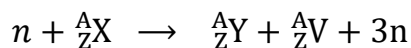
IMPORTANTE: No núcleo atômico existem apenas prótons e nêutrons, os elétrons, pósitrons, neutrinos e antineutrinos emitidos através do decaimento beta são criados no processo do decaimento.

FISSÃO NUCLEAR

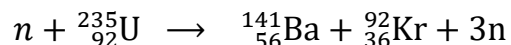
A fissão nuclear é a reação pela qual, um núcleo pesado, $Z \geq 92$, se divide em outros dois núcleos menores. Estes núcleos pesados estão suscetíveis à fissão nuclear espontânea, porém, esta reação pode ser provocada pelo bombardeamento deste núcleo por um nêutron.

A reação induzida é importante quando se deseja uma reação em cadeia, fundamental na utilização de reatores nucleares de fissão e bombas nucleares de fissão.

Considerando que um elemento A_ZX capture um nêutron, sofrendo com isso fissão, esta reação pode ser analisada, em geral, a partir da expressão



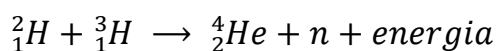
Uma reação de fissão comum nos reatores ou bombas nucleares ocorre com a utilização do urânio ${}^{235}_{92}\text{U}$. O resultado característico desta fissão é



FUSÃO NUCLEAR

A fusão nuclear é a reação na qual dois núcleos leves se fundem para formar um mais pesado. No entanto, para que esta reação ocorra, os núcleos precisam vencer as forças de repulsão de Coulomb, desta forma, são necessárias grandes energias cinéticas, sendo alcançadas em temperaturas elevadas, da ordem de 10^8K , como as existentes no interior das estrelas.

Uma reação comum de fusão ocorre entre núcleos de deutério (${}^2_1\text{H}$) e de trítio (${}^3_1\text{H}$). Esta reação pode ser vista por



A energia liberada na fusão depende da reação. Esta energia, em média, três vezes maior do que a liberada na reação de fissão nuclear.

As reações de fusão controladas são excessivamente complicadas, pois é necessário manter confinado o plasma em alta temperatura por tempo suficiente para que as reações ocorram. No interior das estrelas o plasma encontra-se confinado devido ao intenso campo gravitacional.

ORIENTAÇÕES METODOLÓGICAS

Aulas 1 e 2

Tema da aula

- Histórico da evolução dos modelos atômicos.

Objetivos específicos

- ✓ Reconhecer a evolução da ciência como algo em construção;
- ✓ Estabelecer a evolução atômica como sendo parte de um processo histórico e científico;
- ✓ Perceber as dificuldades da ciência, principalmente no que se refere ao mundo do muito pequeno;
- ✓ Compreender a construção científica como algo passível de erros devido a interferências e limitações humanas.

Sugestão Metodológica

Dividir a turma em grupos de quatro integrantes. Distribuir a cada grupo um fragmento do texto.

Na primeira aula, utilizar os textos que fazem referência à estrutura da matéria, tendo início pelas representações propostas na Grécia Antiga e, percorrendo sua evolução, já na modernidade com os modelos atômicos propostos por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr.

Na atividade, propor a cada grupo, a elaboração de uma apresentação na forma de cartazes, colocando os pontos mais relevantes sobre esta evolução.

Na segunda aula, concluir o trabalho, onde cada grupo, por ordem cronológica, faz a apresentação da sua parte na forma de uma linha do tempo da evolução dos modelos atômicos, além dos principais nomes relacionados a ela.

Nos momentos finais da aula, podem ser apresentadas, através de data show duas simulações do PhET Interactive Simulations.

Por se tratar de uma simulação bastante simples, seu objetivo principal é de observar o resultado esperado e o experimental, gerando, a partir disso um diálogo acerca dos erros e acertos dos modelos atômicos e as limitações impostas por um fenômeno de observação direta impossível.

Tais simulações estão disponíveis em

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/rutherford-scattering

- PARA FUNDIR A CUCA – SUGESTÃO DE ATIVIDADE

Utilizando conceitos de massa molar, densidade e Número de Avogadro, calcular o número de moléculas e de átomos contidos em um copo d'água (considerar o volume do copo igual a 180 mL).

Aula 3

Tema da aula

- Descobrimento da radioatividade

Objetivos específicos

- ✓ Entender como o descobrimento da radioatividade influenciou no entendimento do modelo atômico.

Sugestão Metodológica

Distribuído previamente o texto disponível no material educacional.

Discutir fatos e descobertas mais relevantes que são apresentados sobre as pesquisas realizadas, principalmente por Becquerel e pelo casal Curie, sobre a descoberta da radioatividade.

Desenvolver a partir de um diálogo construtivo entre o professor e os alunos.

Aula 4

Tema da aula

- A radioatividade e os decaimentos alfa, beta e gama;
- Isótopos dos elementos

Objetivos específicos

- ✓ Conhecer os processos de decaimentos alfa, beta e gama;
- ✓ Relacionar os processos de decaimentos com a existência dos isótopos de um mesmo elemento.

Sugestão Metodológica

A intervenção pedagógica durante esta aula, deve ocorrer também dialogada, porém, nesta em especial, alguns aspectos mais formais relacionados à radioatividade e aos decaimentos alfa, beta e gama foram tratados. Assim, se faz necessária uma intervenção mais explicativa por parte do professor, uma vez que, os fenômenos tratados aqui apresentam uma explicação mais complexa.

Aula 5

Tema da aula

- Atividade prática: Construção de modelo representativo dos isótopos do elemento Urânio

Objetivos específicos

- ✓ Interpretar o significado do modelo proposto na atividade;
- ✓ Calcular a porcentagem das duas cores existentes no modelo;
- ✓ Comparar a porcentagem das cores do modelo com a existência dos isótopos do Urânio 238 e 235;

Sugestão Metodológica

Para uma melhor compreensão dos conteúdos de radioatividade e decaimentos naturais trabalhados na aula 04, propõe-se a realização de uma atividade prática, consistindo na construção de um modelo representativo dos átomos de Urânio existentes na natureza.

Divididos em grupos (sugestão 4 integrantes por grupo), os alunos deverão construir o que chamaremos aqui de “caixas de átomos”. Para representar os átomos do Urânio 238 e 235, são utilizadas miçangas nas cores branca e preta. Na representação da porcentagem dos isótopos estudados, utiliza-se mil miçangas, sendo 993 brancas, representando o U-238 e 7 pretas representando o U-235.

Na produção da caixa de átomos, pedir aos grupos que cada um conte as mil miçangas. Mesmo ocupando um tempo relativamente grande da aula, isto é importante para que os alunos tenham contato com a proporção de cada cor, não apenas através de observação da caixa pronta, mas que sentam, durante a contagem, a grande diferença entre o número dos dois isótopos, representados na atividade.

O modelo representativo proposto pode ser visto no material educacional.

Aula 6

Tema da aula

- Fissão nuclear;
- Reatores nucleares de fissão;
- Fusão nuclear;
- Reatores de fusão nuclear

Objetivos específicos

- ✓ Entender o processo de fissão nuclear;
- ✓ Compreender o fenômeno da reação em cadeia;
- ✓ Compreender a necessidade do enriquecimento de Urânio quando este é utilizado em processos que requerem uma reação em cadeia;

- ✓ Interpretar o enriquecimento do Urânio com o modelo visualizado na aula anterior.
- ✓ Entender o funcionamento básico do reator nuclear de fissão.
- ✓ Entender o processo de fusão nuclear;
- ✓ Relacionar as reações de fusão nuclear com o combustível estelar;
- ✓ Comparar, qualitativamente, a energia liberada pelas reações de fissão e fusão nucleares;
- ✓ Identificar as dificuldades na implementação de reatores de fusão na geração de energia elétrica.

Sugestão Metodológica

A abordagem dos fenômenos de Fissão e Fusão nucleares, deve ocorrer a partir de uma contextualização histórica, seguida dos conceitos físicos envolvidos nas reações.

Nesta aula, devem ser discutidos os princípios pelos quais ocorrem as reações.

No processo de fissão nuclear, além da análise dos elementos potencialmente utilizáveis, deve ser enfatizado que nem todos os isótopos destes elementos são físséis. Sendo assim, vale-se das discussões da aula anterior para perceber a importância do processo de enriquecimento. Além disso, é feita uma apresentação técnica do funcionamento dos reatores nucleares utilizados na geração de energia elétrica.

Podem ocorrer discussões relacionadas aos pontos positivos e negativos do uso deste tipo de energia, porém, a sugestão é de tratar disto com maior profundidade nas aulas 7 e 8.

Semelhantemente a abordagem dos conceitos relacionados à fissão nuclear, também se faz com as reações de fusão nuclear.

Aula 7

Tema da aula

Simulação computacional

- Simulação 1: Decaimento beta;

- Simulação 2: Decaimento alfa;
- Simulação 3: Fissão nuclear, reação em cadeia e reator nuclear
- Reatores de fusão nuclear

Objetivos específicos

- ✓ Identificar o fenômeno simulado;
- ✓ Discutir a diferença no tempo de decaimento de cada átomo de um mesmo elemento;
- ✓ Analisar a energia do núcleo na absorção de um nêutron;
- ✓ Descrever o produto resultante da fissão e fusão nucleares;
- ✓ Perceber a utilidade de uma câmara de contenção;
- ✓ Entender a relação explosão/massa crítica;
- ✓ Visualizar o funcionamento de um reator nuclear de fissão;
- ✓ Relacionar o número de fissões com a energia produzida no processo.

Sugestão Metodológica

Nos minutos iniciais (sugere-se 5 minutos), com a finalidade dos estudantes se familiarizarem com o simulador, pode ser deixado livre para que explorem as possibilidades de simulação sem intervenção por parte do professor.

Simulação 1 – decaimento beta

Simulação disponível em:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay

Na primeira parte do procedimento, realiza-se o decaimento beta para um único átomo de deutério, repetindo a emissão de átomos algumas vezes, sugestão entre 15 e 20 vezes. Este procedimento deve ser repetido, substituindo-se, no entanto, os átomos de deutério por átomos de carbono-14. Sugere-se neste caso também uma repetição de 15 a 20 vezes, atentando-se, nos dois casos, para os tempos de decaimentos representados na parte superior do simulador.

Na segunda parte do procedimento, deve ser utilizado o recurso de decaimento beta para vários átomos.

Nesta simulação, os tempos de decaimento para cada átomo, observado na primeira parte, agora será visto simultaneamente ocorrendo, ficando clara assim a diferença no tempo de decaimento dos átomos que compõe uma amostra do material. Será possível ter uma noção clara do significado de meia vida, além de concluir que não se é possível prever qual átomo sofrerá decaimento na sequência, demonstrando então o caráter aleatório dos decaimentos.

Simulação 2 – decaimento Alfa

Simulação disponível em:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/alpha-decay

Os procedimentos na realização desta simulação são semelhantes aos anteriores.

Na primeira parte do procedimento, o decaimento alfa deverá realizado para um único átomo de Polônio-211, sendo repetida a emissão de átomos algumas vezes, sugestão aqui também entre 15 e 20 vezes. Nesta simulação deve-se estar atento a duas informações, a primeira delas considerada aqui mais relevante, pelo próprio objetivo da atividade, é o tempo de decaimento mostrado na parte superior da tela de simulação. A outra informação observada é um gráfico na parte inferior da tela, mostrando a energia da partícula alfa.

Na segunda parte do procedimento, deve ser utilizado o recurso de decaimento alfa para vários átomos.

Este evento também se assemelha ao observado nos decaimentos beta com vários átomos.

Relaciona-se, então, a observação simulada com os fenômenos estudados nas aulas anteriores. Será possível observar o tempo de decaimento entre os átomos, estabelecendo-se o conceito de meia vida de um elemento. Além disso, retomando as discussões relacionadas à existência dos diferentes isótopos de um mesmo elemento, fica evidente, a partir desta observação o caráter aleatório dos decaimentos.

Uma possível variação da simulação, pode ser utilizada tanto nos decaimentos alfa com vários átomos como nos beta.

Após iniciada a simulação, já com alguns átomos tendo sofrido decaimento, solicita-se aos alunos que dêem pausa na simulação e tentem adivinhar qual será o próximo átomo a sofrer decaimento. A chance de acerto será pouco provável, demonstrando com isso a imprevisibilidade dos decaimentos individuais, podendo-se apenas prever com considerável precisão o decaimento da amostra.

Simulação 3 – Fissão Nuclear

Simulação disponível em:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission

Esta simulação é dividida em três partes.

Primeira parte – Fissão: Um núcleo

O procedimento nesta simulação é bastante simples. O núcleo físsil utilizado é o Urânio-235. Contra ele deve ser disparado um nêutron a partir do canhão de nêutrons. No momento em que o núcleo absorve o nêutron, observa-se, no gráfico situado na parte inferior da tela de simulação, um na sua energia, deixando-o ainda mais instável. Em poucos segundos, o núcleo sofre fissão, transmutando-se em dois núcleos filhos além da liberação de três nêutrons.

Quando analisada a fissão de um núcleo individual, os nêutrons livres não aparentam grande importância além da energia que carregam. No entanto, esta importância fica evidente na reação em cadeia.

Segunda parte – Reação em cadeia

Esta simulação trás inúmeras combinações possíveis sendo exploradas as identificadas como mais relevantes. São disponibilizados núcleos de Urânio 235 e 238.

No primeiro momento, devem ser utilizados núcleos de Urânio-238. Estes podem ser acrescentados à tela principal a partir de uma ferramenta de controle do lado direito do simulador.

Disparando um nêutron sobre a amostra, observa-se que apenas um núcleo absorve o nêutron, não ocorrendo nenhuma reação a partir de disso.

Quando substitui-se estes núcleos por outros de Urânio-235 e dispara-se um nêutron, por ser físsil, este libera outros três nêutrons, que serão absorvidos por outros três núcleos, que também se fissionam, liberando outros três nêutrons e assim por diante, dando continuidade a reação em cadeia até que todos os núcleos da amostra sejam fissionados.

Selecionando, a seguir, uma câmara de contenção, variando suas dimensões de modo a comportar um número reduzido de U-235, dispara-se o canhão de nêutrons e, observa-se que a reação em cadeia ocorre até o último núcleo sofrer fissão, então a reação cessa.

Aumentando as dimensões da câmara de modo a comportar um número elevado de U-235 e disparando um nêutron, os núcleos sofrem fissão e o processo será finalizado com a representação de uma explosão atômica.

Terceira parte – Reator Nuclear

Esta simulação representa o funcionamento de um reator nuclear. É possível explorar alguns fenômenos importantes empregados nas usinas nucleares.

Durante o funcionamento do reator, três informações são atualizadas em tempo real, apesar de não trazerem escalas de medidas, são representações gráficas para uma análise qualitativa. São elas a temperatura do reator, que varia de acordo com a intensidade das reações, além de informações sobre a energia produzida por segundo e a total.

No primeiro momento, dispara-se um nêutron sem retirar as barras controladoras. Será possível observar que a reação cessa em poucos instantes, pois os nêutrons responsáveis pela reação em cadeia serão absorvidos pelas barras.

No segundo momento, retira-se as barras e dispara-se um nêutron. Observa-se que a reação será contínua. É possível controlar a reação subindo

ou descendo as barras controladoras. Esse controle poderá ser observado nos gráficos de energia total e de saída, além da temperatura do reator.

Aula 8

Tema da aula

- Discussão com base no texto: Energia Nuclear: Risco ou oportunidade

Objetivos específicos

- ✓ Discutir a matriz energética no Brasil;
- ✓ Formular um pensamento crítico sobre o uso de reatores nucleares na geração de energia elétrica;
- ✓ Discutir a potencial letalidade da radiação liberada no interior do reator;
- ✓ Identificar o avanço tecnológico no uso da energia nuclear;
- ✓ Contrastar os pontos positivos e negativos no uso deste tipo de energia;

Sugestão Metodológica

Análise do texto “ENERGIA NUCLEAR: RISCO OU OPORTUNIDADE?”, disponível em:

<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-108-energia-nuclear-risco-ou-oportunidade>

Disponibilizar aos estudantes para uma leitura prévia, extra-classe, para um posterior debate sobre as discussões contidas nele.

De maneira geral, o texto trata de aspectos importantes no que concerne um posicionamento a respeito do uso da energia nuclear.

A partir da análise do texto, a prática pedagógica será uma discussão na forma de mesa redonda. Nela os alunos deverão ser estimulados a assumir uma posição frente ao exposto, tomado cuidado para que esta posição ocorra através de embasamento teórico/científico, afastando-se de conclusões de conhecimento do senso comum.

SUGESTÃO DE OUTROS TEXTOS PARA DISCUSSÃO:

“Radioatividade e o acidente de Goiânia”

Disponível em:

<file:///E:/1-%20Profissional%20E/MNPEF/1-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o/PRODUTO/Artigos/verifica%C3%A7%C3%A3odos%20textos%20abaixo/7842-23583-1-PB.pdf>

“Uma breve história da política nuclear Brasileira”

Disponível em:

<file:///E:/1-%20Profissional%20E/MNPEF/1-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o/PRODUTO/Artigos/verifica%C3%A7%C3%A3odos%20textos%20abaixo/Dialnet-UmaBreveHistoriaDaPoliticaNuclearBrasileira-5166006.pdf>

LIVRO-TEXTO

DO QUE AS COISAS SÃO FEITAS?

Desde a Grécia Antiga, os primeiros filósofos já estavam intrigados com perguntas como: Qual o princípio de todas as coisas? Do que tudo é formado? Estas perguntas norteiam a busca por respostas dos primeiros filósofos, dentre eles Tales de Mileto (640-562 a.C.), considerado o primeiro filósofo, que não aceita mais explicações embasadas em magias e mitos. Muitas foram as respostas pensadas, ideias defendidas, algumas delas conhecidas até hoje.



Fig. 1 – Teatro de Mileto⁶

- *TALLES (640-562 a.C.) - O princípio de tudo é a água.*
- *ANAXIMANDRO (611-545 a.C.) - Apeiron = indeterminado*
- *ANAXÍMENES (585-528 a.C.) - O princípio de tudo é o ar.*
- *HERÁCLITO (576-480 a.C.) - O fogo origina tudo.*
- *EMPÉDOCLE (492-432 a.C.) - Os quatro elementos: água, ar, fogo e terra que, combinados em diferentes proporções dão origem a tudo.*
- *PITÁGORAS (570-497 a.C.) - O mundo segue a harmonia dos números.*
- *LEUCIPO (século V a.C.) e DEMÓCRITO (460-370 a.C.) - Matéria não contínua, constituída por pequenas partículas invisíveis, imutáveis e indivisíveis chamadas de átomos.*

⁶ Fig. 1 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milet_Amphitheater1.JPG

A teoria dos quatro elementos perdura até o início da Idade Moderna, como a mais aceita para explicar a constituição de tudo o que existe. Porém, com o estudo de gases, pressão, força, calor, por nomes como Roger Bacon, Evangelista Torricelli, Blaise Pascal, Robert Boyle, Isaac Newton, René Descartes, a teoria atômica ganha força.

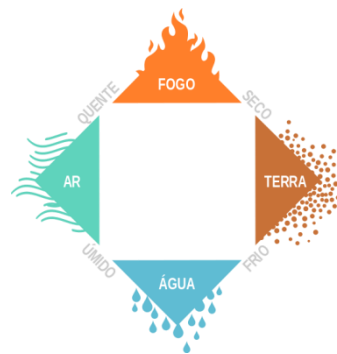


Fig. 2 – Os Quatro Elementos⁷

ÁTOMO – partículas invisíveis ao olho humano

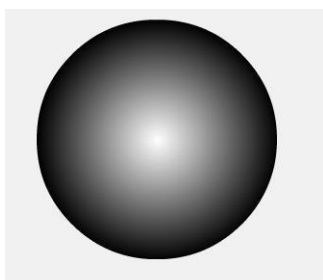


Fig. 3 – Átomo de Dalton⁸

Em 1808, o cientista John Dalton, formula sua teoria, seguindo a ideia de Leucipo e Demócrito, que para ele era coerente. Assim, para Dalton, a matéria era constituída por átomos indivisíveis e imutáveis. Este modelo atômico ficou conhecido como o modelo da bola de bilhar.

Não há como negar que a contribuição de Dalton, principalmente no que se refere à constituição da matéria foi de suma importância, porém, com a descoberta do elétron, em 1897, como sendo partícula constituinte do átomo, com carga elétrica negativa, o seu modelo atômico se torna ultrapassado. Assim, em 1897, Joseph John Thomson, propõe um novo modelo de átomo. Neste modelo, o átomo seria uma esfera composta por algum tipo de fluido que continha carga positiva na qual estavam imersos os elétrons, com carga negativa, distribuídos de maneira uniforme, tornando assim o átomo neutro. Este modelo ficou conhecido como o modelo do “pudim de passas”.

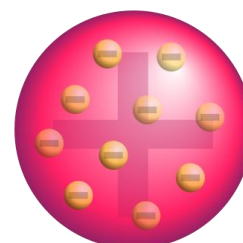


Fig. 4 – Modelo Atômico “Pudim de Passas”⁹

⁷Fig. 2 - https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles#/media/File:Diagrama_4_elementos.svg

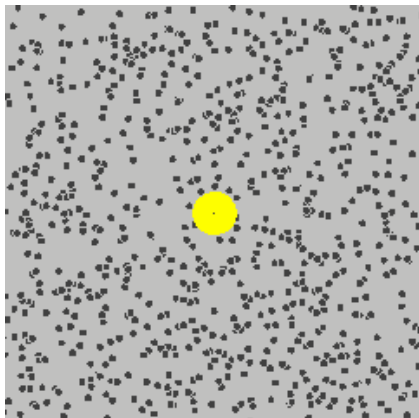
⁸ Fig. 3 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atomo_de_Dalton.jpg

⁹ Fig. 4 - https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81tomo#/media/File:Plum_pudding_atom.svg

Mário Schenberg (1914-1990), físico brasileiro, considerava a história da ciência mais fascinante que um romance policial, pois enquanto o mistério de um romance sempre se esclarece ao seu final, os da ciência se multiplicam, constituindo-se em fonte permanente de novos e intrigantes questionamentos.¹⁰

Em fins do século XIX e início do XX, fenômenos estranhos estavam sendo detectados e estudados. Raios esquisitos já faziam parte das pesquisas de Becquerel e do casal Curie, fenômenos estes que intrigavam a comunidade científica da época. Mesmo com modelos para explicar o átomo, ainda não havia certeza de sua existência.

Robert Brown, botânico escocês observou, através de um microscópio que o pólen apresentava um movimento estranho, frenético, quando espalhado sobre água contida em um recipiente. Ele relacionou este movimento à existência dos átomos. Sua teoria ficou esquecida por quase 80 anos, quando,



ninguém menos do que Albert Einstein, reavaliando o movimento estranho descoberto por Brown, põe fim a discussão sobre a existência ou não do átomo. Para Einstein, o movimento frenético apresentado pelos grãos de pólen sobre a água só poderia ocorrer se eles estivessem sendo empurrados por alguma coisa. Esta “coisa” só poderia ser o átomo.

Fig. 5 – Movimento Browniano¹¹

PARA FUNDIR A CUCU

Existem mais átomos em um copo d'água do que copos d'água em todos os oceanos da Terra.

¹⁰ SCHENBERG apud PEDUZZI, 2008, p. 53.

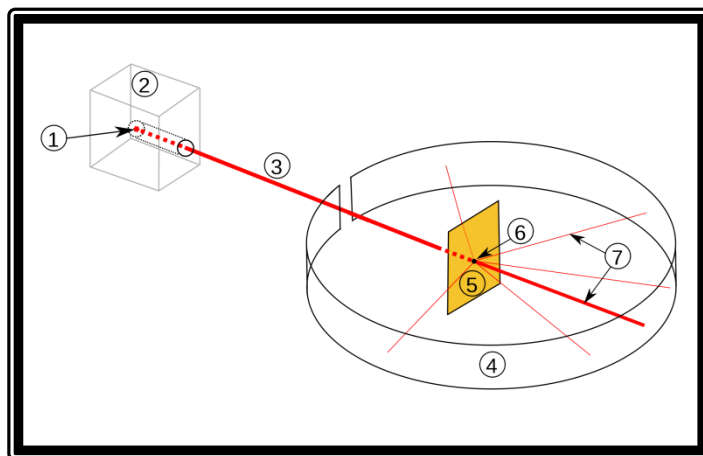
¹¹ Fig. 5 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brownian_motion_large.gif

Fig. 6 – Ernest Rutherford¹²

Em 1909, Ernest Rutherford (1871-1937), obcecado pela radioatividade, realiza na Universidade de Manchester, em conjunto com seus assistentes Hans Geiger e Ernest Marsden, experimentos que consistiam, essencialmente, em bombardear uma finíssima lâmina de ouro com o que era denominado por Rutherford de raios-alfa proveniente do elemento rádio.

Neste experimento, Rutherford incumbe seus assistentes a “metralharem” a lâmina de ouro com a radiação alfa e contar, em uma placa fosforescente, os lampejos quase invisíveis que nelas apareceriam.

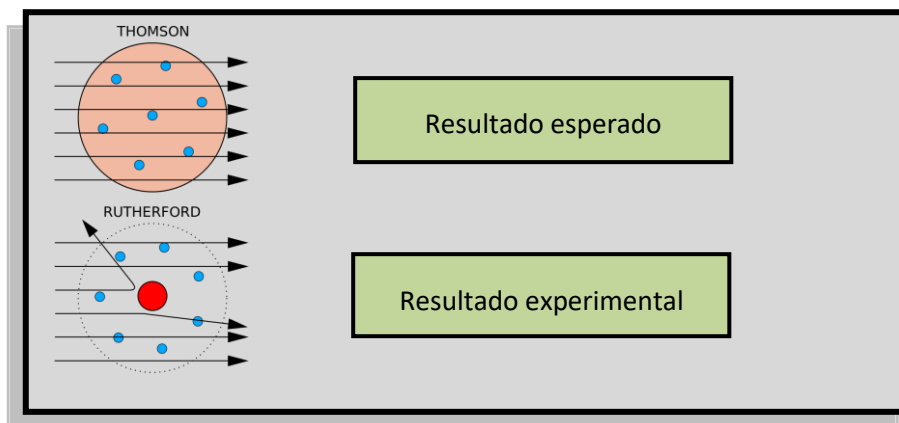
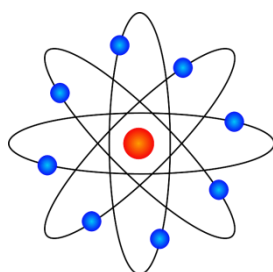
Durante semanas seus assistentes observaram a placa fosforescente. Em um encontro que Rutherford teve com seu assistente Geiger, este lhe reporta que nada havia acontecido fora do normal. Porém, fazendo uso de sua intuição científica assombrosa, Rutherford pede a seu assistente para que verificasse se conseguiria detectar alguma partícula alfa sendo refletida à frente da lâmina de ouro. O que parecia ser uma ideia estúpida, após dias de observação, o impossível acontece, Geiger e Marsden detectam, raríssimas partículas alfa ricocheteando da folha de ouro. Segundo cálculos de Geiger, uma em cada oito mil partículas alfa sofria este ricocheteio.

Fig. 7 – Experiência de Rutherford¹³

Rutherford, pasmo com a notícia, percebe que algo extraordinário havia sido descoberto. Mesmo durando mais de um ano para que ele entendesse esta descoberta, Rutherford é capaz de mostrar a estrutura destas minúsculas partículas chamadas de átomos.

¹² Fig. 6 - https://pt.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford#/media/File:Ernest_Rutherford2.jpg

¹³ Fig. 7 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rutherford_Scattering.svg

Fig. 8 – Resultado da experiência de Rutherford¹⁴Fig. 9 – Átomo de Rutherford¹⁵

Como os experimentos mostraram algo inesperado e impensado para a estrutura atômica, Rutherford se pôs a pensar sobre o que fazia as partículas alfa, positivas, sofrerem reflexão. Ele propõe então, um modelo onde, os elétrons, partículas carregadas negativamente, giravam em torno de um núcleo muito pequeno, com carga positiva.

Logo surgiria um enorme problema para explicar este modelo atômico. De acordo com as leis da Física daquela época, não seria possível os elétrons girarem em torno de um núcleo, pois, segundo a teoria clássica do eletromagnetismo, o elétron irradiaria energia devido a sua aceleração centrípeta, assim, os elétrons deveriam colapsar em uma trajetória espiral rumo ao núcleo quase que instantaneamente.

Muitos problemas vieram com a experiência de Rutherford. Em apenas seis anos, o átomo é considerado como real, com praticamente todo seu volume contendo espaço vazio e por fim, não obedece às leis físicas conhecidas. Era necessário então o surgimento de uma nova Física, novos cientistas, que, com uma mente aberta, pudessem pensar o impensável.

Após um breve tempo em que trabalha com Thomson, um jovem físico dinamarquês, Niels Bohr (1885-1962) muda-se para Manchester, em 1911, para trabalhar com ninguém menos que Ernest Rutherford.

¹⁴ Fig. 8 - https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Gold_foil_experiment_conclusions.svg

¹⁵ Fig. 9 - <https://pixabay.com/pt/%C3%A1tomo-n%C3%AAutron-n%C3%BAcleo-proton-30442/>

Fig. 10 – Niels Bohr¹⁶

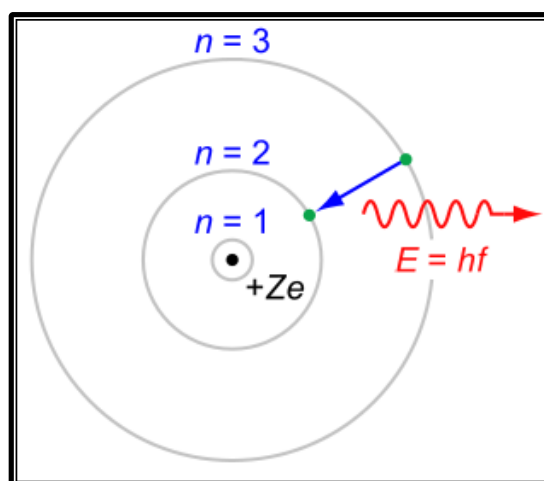
Bohr dá início ao seu trabalho no laboratório de Rutherford, estudando a radioatividade, porém, o modelo atômico nuclear o intriga.

Apesar da pouca idade, Bohr já despontava como um físico brilhante e, estava imensamente fascinado pelo modelo atômico de Rutherford que passou a perseguir insistentemente uma explicação para tal modelo, mesmo este sendo incompatível com as leis da Física Clássica, mas isso não o abateu.

Físico teórico, detentor de uma mente extraordinária, Bohr abre mão de qualquer intuição ou senso comum da época, mantendo sua mente aberta para qualquer possibilidade desta nova física que desabrochava.

Bohr propõe um modelo para o átomo de hidrogênio, no qual o elétron descreve, ao redor do núcleo uma órbita circular, sofrendo influencia de atração elétrica segundo a Lei de Coulomb.

Este modelo, no entanto, contrariava a teoria eletromagnética clássica que, segundo ela, este modelo não seria possível, pois os elétrons, descrevendo um movimento circular perderiam energia, caindo, desta forma, no núcleo.

Fig. 11 – Átomo de Bohr¹⁷

¹⁶ Fig. 10 - https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Niels_Bohr.jpg

¹⁷ Fig. 11 - https://en.wikipedia.org/wiki/Bohr_model#/media/File:Bohr-atom-PAR.svg

Bohr soluciona este problema postulando que:

- *O elétron se move em órbitas circulares estacionárias ao redor do núcleo, sem emitir ou absorver energia espontaneamente.*
- *O elétron não pode ocupar órbitas contínuas, mas sim discretas, não podendo então estar entre uma e outra, mas numa ou noutra.*
- *Quando recebe valores discretos de energia, pode transitar para uma órbita mais afastada do núcleo e, liberando esta energia, voltaria para seu estado fundamental.*

Os valores discretos de energia são propostos a partir da teoria quântica de Planck, os chamados quanta (pacotes) de energia.

A ideia de quantum (pacote) de energia foi proposta por Einstein para explicar o efeito fotoelétrico.

O modelo atômico de Bohr, apesar de explicar o modelo proposto por Rutherford, não apresentava nenhuma justificativa para os postulados. Este problema será solucionado pela mecânica quântica. Os estados estacionários do modelo de Bohr correspondem a soluções estacionárias da equação de Schrödinger.

A mecânica quântica descreve apenas a probabilidade de se encontrar um elétron em uma certa região, uma vez que ele é descrito por uma função de onda. Assim, neste modelo atômico, não é possível localizar o elétron em uma trajetória definida. Existe apenas uma região em que ele poderá ser encontrado. Esta região é chamada de nuvem eletrônica.

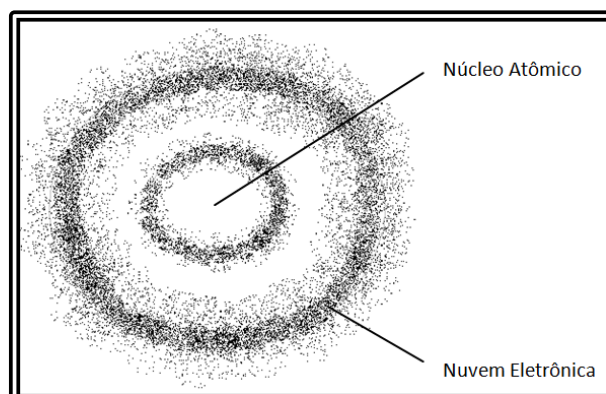


Fig. 12 – Nuvem Eletrônica¹⁸

¹⁸ Fig. 12 - Do AUTOR

RUMO AO NÚCLEO ATÔMICO

Apenas em 1919, Ernest Rutherford publica suas pesquisas foi descoberta a existência do próton, com uma massa 1870 vezes maior que a do elétron e carga elétrica de mesmo módulo, porém positiva. Somente em 1932, o físico inglês James Chadwick descobriu-se um novo tipo de partícula componente do núcleo, com carga elétrica nula e massa 0,2% maior que a massa do próton, partícula esta chamada de nêutron. Com isso foi possível se compreender melhor a estrutura atômica.

O número de prótons é igual ao número de elétrons, desta forma o átomo se mantém eletricamente neutro.

Em núcleos leves o número de prótons e nêutrons é aproximadamente igual, porém, quanto mais pesado for o núcleo, a diferença entre prótons e nêutrons aumenta significativamente.

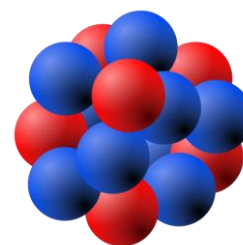


Fig. 13 – Núcleo Atômico¹⁹

O que dá identidade ao elemento é justamente o número de prótons que ele possui, ou seja, elementos químicos diferentes possuem número de prótons diferentes. Como exemplo, podemos pensar no hidrogênio. Ele é hidrogênio porque possui um próton em seu núcleo. Caso ele apresente dois prótons, não será hidrogênio, mas outro elemento, o hélio.

Como já analisado, o número de prótons é a identidade do elemento químico, mas um fenômeno bastante interessante é o da isotopia, onde mesmos elementos químicos apresentam número de nêutrons diferente no seu núcleo. Em geral, os átomos possuem três isótopos estáveis, porém, este valor varia de acordo com cada elemento, assim, alguns podem apresentar apenas um isótopo estável enquanto outros apresentarem em torno de cinco. O hidrogênio, por exemplo, possui três isótopos, como pode ser visto na figura.

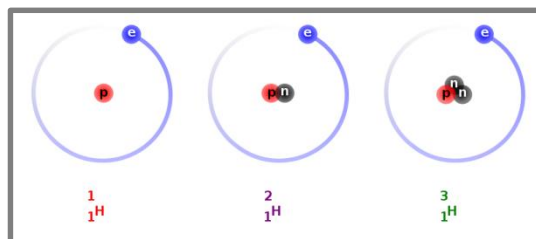


Fig. 14 – Isótopos do Hidrogênio²⁰

¹⁹ Fig. 13 - https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_nucleus#/media/File:Nucleus_drawing.svg

Sugestão de Atividade

Para visualizar a experiência de Rutherford, pode ser utilizado o simulador Phet Colorado.

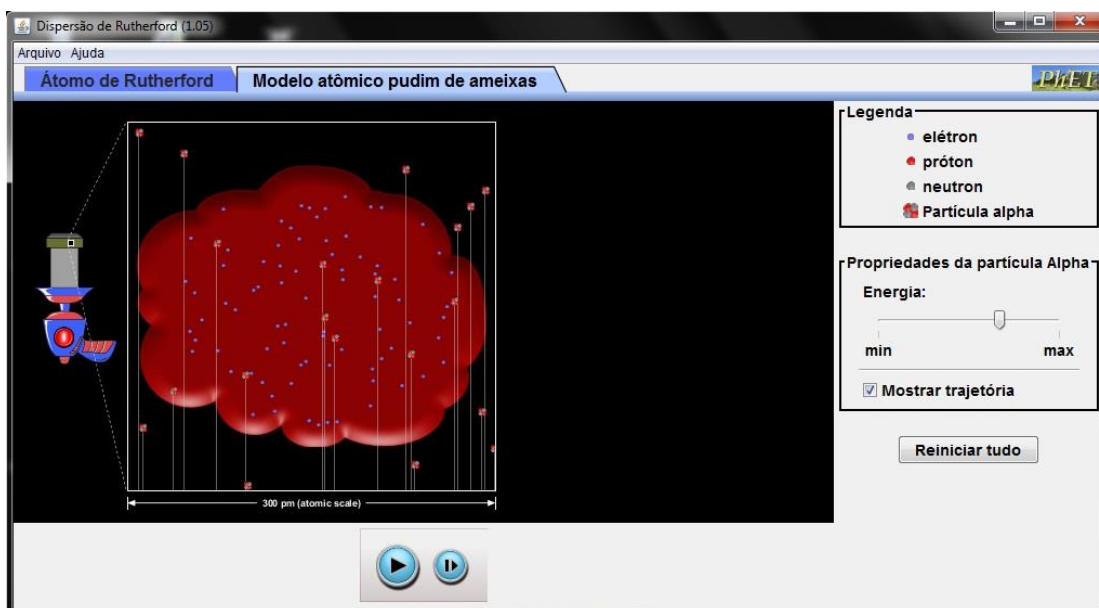


Fig. 15 – Resultado esperado²¹

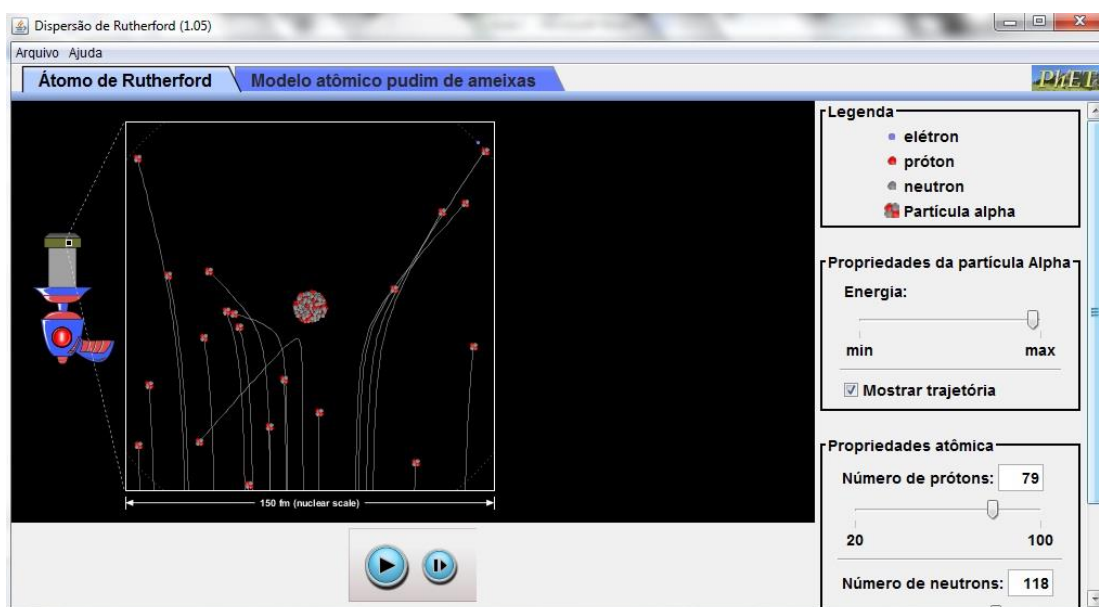


Fig. 16 – Resultado experimental²²

²⁰Fig. 14 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen_Deuterium_Tritium_Nuclei_Schematic.svg

²¹ Fig. 15 - http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/rutherford-scattering

RAIOS, ÓH RAIOS!

Henry Becquerel, em 1896, trabalhando em seu laboratório com materiais fluorescentes e fosforescentes que, quando estimulados por luz solar impressionavam chapas fotográficas com um tipo de raio estranho, mas devido ao mal tempo em Paris, precisou parar com seus experimentos, guardando uma amostra de minério de urânio e algumas chapas fotográficas em uma gaveta. Alguns dias depois, com a melhora do tempo, ele resolve dar continuidade em seus experimentos e, para isso, revela as chapas que estavam na gaveta para se certificar de que estavam em bom estado e, qual foi a sua surpresa quando percebeu que as chapas haviam sido sensibilizadas pelo urânio, mesmo guardadas na ausência de luz.



Fig. 17 – Henri Becquerel²³

Este resultado inesperado trouxe novas discussões e uma explicação que foi generalizada, pois foi mostrado que aparentemente não era necessário expor o material fosforescente à luz solar para que este emitisse tais raios e tanto com urânio puro como também com minério deste material, os resultados eram semelhantes.

Em 2 de março, estes resultados de Becquerel são apresentados à Academia Francesa de Ciências, colocando Becquerel como sendo o descobridor de uma novo fenômeno físico, algo que ficaria conhecido mais tarde como RADIOATIVIDADE.

Ainda que Becquerel tenha feito esta descoberta, para ele isto não significava algum tipo novo de fenômeno, ele não fez a relação com uma descoberta, talvez tenha sido justamente por não ter entendido o que acabara de verificar. Mesmo assim, suas contribuições científicas não são diminuídas, sendo isto comprovado pelo fato de, em 1903, receber o Prêmio Nobel.

²² Fig. 16 - Id.

²³ Fig. 17 - <http://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/historia>

Se estes raios não eram nenhum tipo de fluorescência ou fosforescência, o que seriam então?

Em busca de resposta para esta pergunta, Marie Curie e seu marido Pierre Curie iniciam, em 1897, uma nova investigação para explicar o que seriam estes raios estranhos descobertos por Becquerel.



Fig. 18 – Marie Curie²⁴

Marie desenvolve suas pesquisas, usando, primeiramente o urânio e verifica que, os raios emitidos por ele dependem unicamente dele, sem apresentar variações devido a temperatura, umidade, luminosidade ou outro tipo de elemento contido na amostra. Ela conclui então que os raios emitidos são próprios do urânio.

Mais tarde ela resolve verificar se tais raios eram emitidos apenas pelo urânio ou se outros elementos apresentariam também tais propriedades. Logo verifica que outros materiais também apresentam tais características como o tório e o bário. A busca por novos elementos radioativos faz com que encontrem um elemento quatrocentas vezes mais ativo que o urânio, tendo o nome sugerido por ela de polônio, uma homenagem ao seu país de origem. Outro elemento também descoberto por ela, cujo nome sugerido foi rádio.

Nesta época, o modelo atômico nuclear ainda não era conhecido

Seus trabalhos foram apresentados, em 1903, como tese de seu doutorado, sendo esta a maior contribuição científica jamais feita em uma tese de doutorado.

Em 1903, Marie, Pierre e Becquerel dividem o Prêmio Nobel de Física

Marie ganha, em 1911, um segundo Prêmio Nobel, agora de Química

Morreu em 1934, de leucemia, possivelmente decorrente da exposição as radiações durante seu trabalho.

²⁴Fig. 18 - <https://www.flickr.com/photos/124561666@N02/14403529254>

RADIOATIVIDADE

Alguns núcleos instáveis possuem a capacidade de emitirem energia na forma de partículas ou radiação eletromagnética. Este processo é conhecido como decaimento radioativo, onde um núcleo instável sofre sucessivos decaimentos até chegar a um núcleo estável. Os mais comuns são os decaimentos α (alfa), β (beta) e γ (gama). Mais tarde será verificado que as partículas α são núcleos de ^4He , as partículas β são elétrons (β^-) ou pósitrons (β^+) e a radiação γ , que são fótons.



Fig. 19 – Radioatividade - Perigo²⁵

A taxa de decaimento não se mantém constante ao longo do tempo, mas diminui exponencialmente. Essa dependência exponencial do tempo é uma característica de todos os fenômenos radioativos, e indica que o decaimento radioativo é um processo estatístico. ²⁶

MEIA VIDA DE UM ELEMENTO – é o intervalo de tempo necessário para que uma amostra do elemento seja reduzida a metade.

Vamos tomar o urânio como exemplo. Elemento químico representado pelo símbolo U, com número atômico 92 (92 prótons e 92 elétrons). Seus isótopos mais comuns possuem uma meia vida longa. Aproximadamente 4,3 bilhões de anos para o Urânio – 238, aproximadamente 700 milhões de anos para o Urânio – 235 e aproximadamente 250 mil anos para o Urânio – 234.

²⁵Fig. 19 - <https://pixabay.com/pt/radia%C3%A7%C3%A3o-s%C3%ADmbolo-perigo-646217/>

²⁶ TIPLER; MOSCA. 2006. p. 2014

DECAIMENTO GAMA: Quando um núcleo recebe algum tipo de energia externa, ele pode sofrer uma excitação, passando para algum outro estado possível. Porém, este estado tende a ter uma vida muito curta, assim, ele decai para um nível de menor energia, possivelmente seu estado fundamental, emitindo, desta forma a energia em excesso que havia adquirido sob a forma de energia eletromagnética, chamada esta de **radiação ou decaimento gama**.

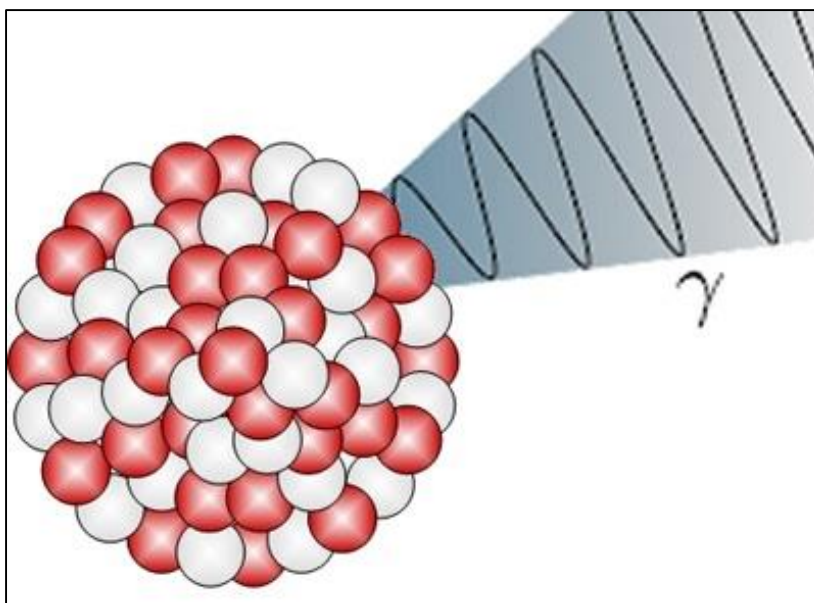
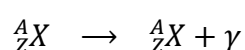


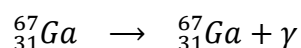
Fig. 20 – Decaimento gama²⁷

Essa reação pode ser expressa pela equação:



No caso deste decaimento, um átomo pai transmuta para um átomo filho mais radiação gama.

EXEMPLO: O elemento Gálio é um emissor gama. Ele possui massa atômica igual a 67 e número atômico igual a 31.



²⁷Fig. 20 - https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_ray#/media/File:Gamma_Decay.svg

DECAIMENTO ALFA: Os núcleos muito pesados, com número atômico maior que 83, tendem a serem instáveis. Estes núcleos emitem, então, dois prótons e dois nêutrons, ocorrendo, desta forma uma transmutação, pois o núcleo pai, ao emitir estas partículas, se transforma em outro elemento com número atômico duas unidades menor e número de massa quatro unidades menor.

Esta partícula alfa é, simplesmente, um núcleo de hélio (${}^4_2\text{He}$)

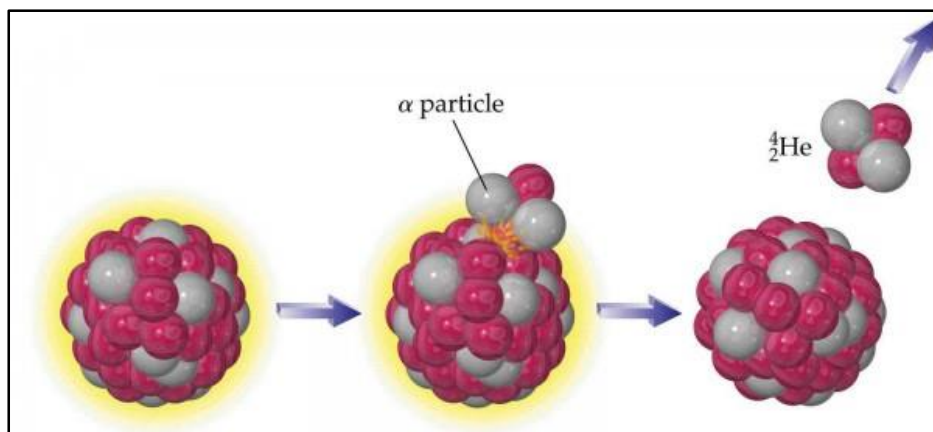
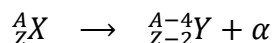


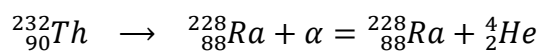
Fig. 21 – Decaimento alfa²⁸

Esse tipo de reação pode ser expresso da seguinte forma:



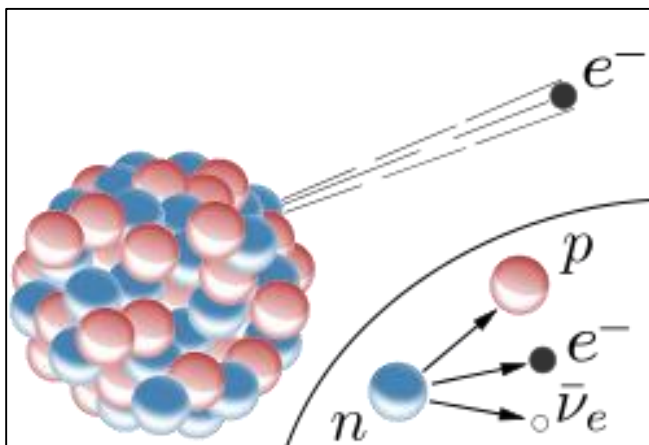
No caso deste tipo de decaimento, um átomo pai transmuta para um átomo filho mais uma partícula alfa.

EXEMPLO: O isótopo do elemento Tório ${}^{232}_{90}\text{Th}$ (Z=90) sofre decaimento alfa.



DECAIMENTO BETA: Neste processo de desintegração, um núcleo instável transforma-se em outro elemento através da emissão de uma partícula beta. Existem três principais reações deste tipo. A radiação β^- ocorre quando um nêutron se transforma em um próton com a emissão de um elétron e um antineutrino (antipartícula do neutrino).

²⁸ Fig. 21 - <http://scienceblogs.com/startswithabang/2012/12/12/why-the-world-will-run-out-of-helium/>

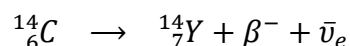
Fig. 22 – Decaimento beta²⁹

$$n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}_e$$

Esse tipo de reação pode ser expresso da seguinte forma:

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + \beta^- + \bar{\nu}_e$$

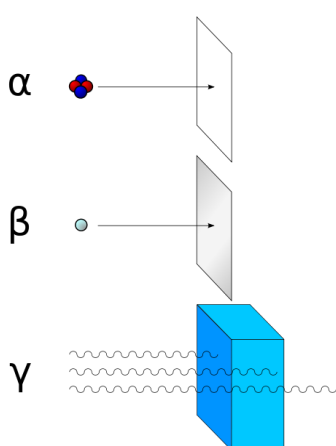
EXEMPLO: Um decaimento β importante é o caso do carbono-14



A radiação β^+ acontece quando um próton se transforma em um nêutron com a emissão de um pósitron (antielétron) e um neutrino. O terceiro tipo de reação beta é a captura de um elétron por um próton do núcleo, transformando-se em um nêutron.

IMPORTANTE

*O fato do elétron (pósitron) aparecer como um produto do decaimento NÃO significa que existam elétrons (pósitrons) dentro do núcleo! Na verdade eles são criados no processo graças à intervenção da interação fraca, responsável pelo decaimento.*³⁰

Fig. 23 – Blindagem radioativa³¹

Radiação alfa possui baixo poder de penetração, podendo ser barrada por uma folha de papel ou até mesmo pela pele humana.

Radiação beta possui mais poder de penetração que as partículas alfa. Pode ser blindada por uma lâmina de alumínio.

Radiação gama tem alto poder de penetração. Para sua blindagem é necessária uma placa de chumbo com espessura entre 2,5 cm a 5 cm, dependendo da energia da radiação.

²⁹ Fig. 22 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beta-minus_Decay.svg

³⁰ AVANCINI; MARINELLI. 2009. p. 33

³¹ Fig. 23 - https://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Alfa_beta_gamma_radiation.svg

Atividade Proposta - “Caixa de átomos”

Aproximadamente 99,3% de todo o Urânio natural disponível na Terra é composto pelo isótopo U-238, sendo o restante composto pelo U-235 (0,7%) e uma quantidade praticamente inexistente de U-234.

Vamos então visualizar a proporção entre os isótopos do U-238 e U-235 com uma atividade prática.

Materiais

- Miçangas brancas e pretas com 4 mm de diâmetro
- Caixinha de acrílico com tampa, com dimensões 50 mm x 50 mm x 45 mm

Procedimento

- Dividir os alunos em grupos (sugestão: 4 alunos por grupo)
- Cada grupo deverá separar 993 miçangas brancas e 7 pretas
- Acomodar as miçangas na caixinha de acrílico
- Tampar a caixinha e balançar para misturar as miçangas das duas cores



Fig. 24 – Caixa de Átomos³²



Fig. 25 – Caixa de Átomos - zoom³³

³² Fig. 24 - Do AUTOR

³³ Fig. 25 - Id.

Discussão em grupo

- 1- O que as miçangas representam?
- 2- Estabelecer a porcentagem entre as duas cores.
- 3- Levantar hipóteses sobre o porquê da diferença entre as duas cores.

Sugestão

O professor poderá confeccionar sua “caixa de átomos” para melhor visualização.

Materiais

- 993 pérolas brancas e 7 pretas com 8 mm de diâmetro
- Caixa de acrílico com tampa, com dimensões 200 mm x 100 mm x 40 mm

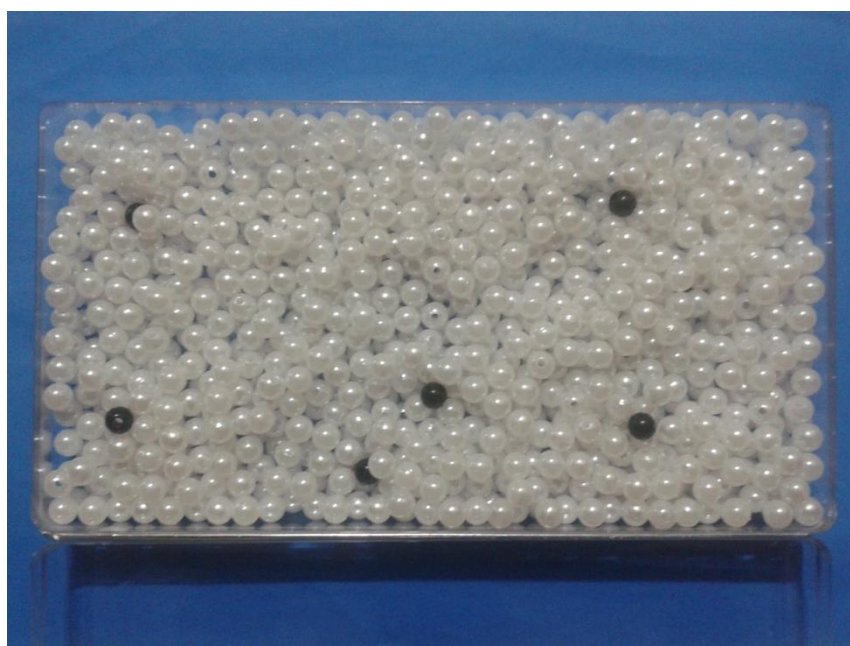


Fig. 26 – Caixa de Átomos do professor³⁴

³⁴ Fig. 26 - Do AUTOR

FISSÃO E FUSÃO

FISSÃO NUCLEAR

O processo de Fissão Nuclear foi descoberto em 22 de dezembro de 1938 os químicos alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann. A energia liberada nessa reação é incrivelmente grande, nunca visto anteriormente, o que acendeu o alerta do uso de tamanho poder para fins militares. Este temor se concretiza na manhã do dia 06 de agosto de 1945, com a detonação da bomba nuclear em Hiroshima, no Japão e, três dias após, uma segunda bomba é detonada sobre Nagasaki, também no Japão. O mundo ficou em estado de choque com tamanho poder de destruição. Tinha início aí uma era de “terror nuclear”, dividindo o mundo em superpotências que se armaram com um número tão grande de armas nucleares capazes de liquidar com o planeta algumas dezenas de vezes.



Fig. 27 – Hiroshima³⁵

Apesar da complexidade técnica na realização da fissão nuclear, o processo é relativamente fácil para entender.

Fissão é o fenômeno no qual um átomo pesado, como Urânio ou Plutônio, sofre uma divisão em dois átomos mais leves.

Nem todos os isótopos de um elemento serão obrigatoriamente físséis, pois, tomando como exemplo o Urânio natural, constituído pelos isótopos U-238 e U-235, apenas o segundo possui a propriedade de fissionar.

O processo ocorre quando um núcleo do U-235 absorve um nêutron, tornando-se desta forma instável. Esta instabilidade fará com que ele se divida em dois núcleos mais leves além de emitir nêutrons de alta energia e radiação γ .

³⁵ Fig. 27 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hiroshima_aftermath.jpg?uselang=pt-br

Uma reação bastante comum de fissão nuclear é:

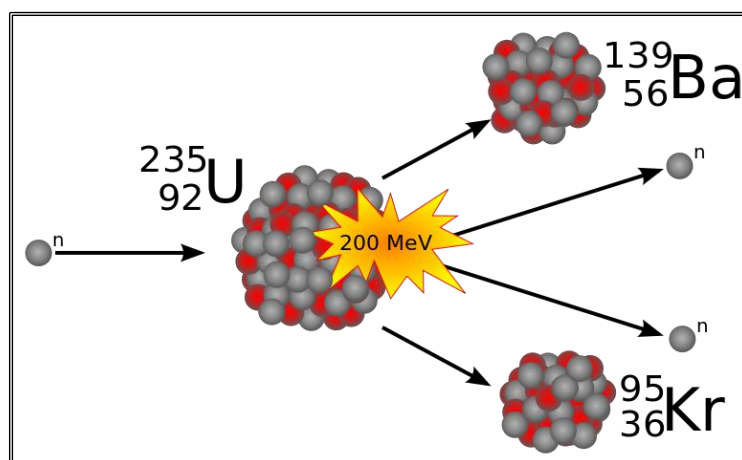
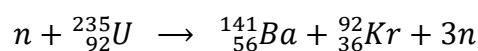


Fig. 28 – Fissão Nuclear³⁶

Para utilização da fissão, seja ela em reatores nucleares, alimentação de submarinos ou em armas de destruição em massa como as bombas nucleares, é necessário que haja uma concentração mínima do isótopo físsil do elemento utilizado. No caso do Urânio, a concentração na natureza é de aproximadamente 99,3% de U-238, não físsil e apenas 0,7% de U-235 físsil.

Isso torna, então, necessário o enriquecimento do elemento, que consiste em separar o isótopo físsil do não físsil. Para sua utilização, como por exemplo, em reatores de usinas nucleares, a concentração do U-235 deve ser entre 3% a 5%, nos submarinos nucleares, esta concentração é maior, em torno de 20% e, acima de 95% para a produção de uma bomba nuclear.

O resultado do enriquecimento fará com que o elemento físsil sofra uma reação em cadeia, necessária para dar continuidade no processo, pois quando o isótopo absorve um nêutron, sofre a fissão, liberando, além de energia, três nêutrons que atingirão outros núcleos que também liberarão três nêutrons cada e assim por diante.

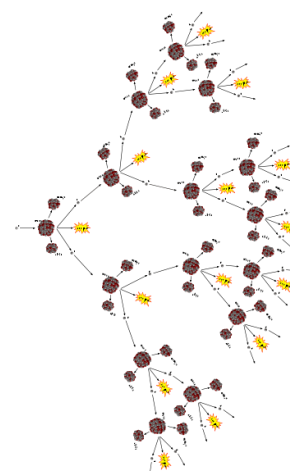


Fig. 29 – Reação em cadeia³⁷

³⁶ Fig. 28 - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kernspaltung.svg?uselang=pt-br>

³⁷ Fig. 29 - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kettenreaktion.svg>

REATORES NUCLEARES DE FISSÃO

A reação em cadeia proveniente da fissão nuclear é um processo descontrolado. Para que seja possível o seu uso na geração de energia elétrica em centrais nucleares se faz necessário o controle da reação, feita através de reatores nucleares. A fim de absorver nêutrons, controlando dessa forma a reação em cadeia, são utilizados moderadores que contêm núcleos leves como carbono ou água pesada (D_2O). Além dos moderadores, para uma operação segura do reator, se faz necessário controlar com grande precisão a reação. Para isso, são utilizadas barras de controle, confeccionadas com materiais com grande poder de absorver nêutrons sem sofrer fissão. Os elementos utilizados na confecção das barras são o háfnio e o boro. Elas são retiradas do reator de forma gradual liberando o processo da reação em cadeia. Caso seja necessário diminuir a reação ou mesmo cessá-la, as barras de cádmio são novamente introduzidas no reator, parando desta forma o processo da reação, desligando assim a usina.

O princípio básico de uma usina nuclear não é complicado. A energia liberada na fissão é utilizada no aquecimento de água em um circuito primário, fechado. Através de serpentinas, um segundo circuito com água é aquecido, sendo este ligado a uma turbina a vapor e esta a um gerador elétrico. O vapor pressurizado no circuito secundário movimenta a turbina, gerando, desta forma, energia elétrica. Um terceiro circuito é utilizado para condensar o vapor do circuito secundário, que será novamente vaporizado, dando assim continuidade da geração da energia elétrica.

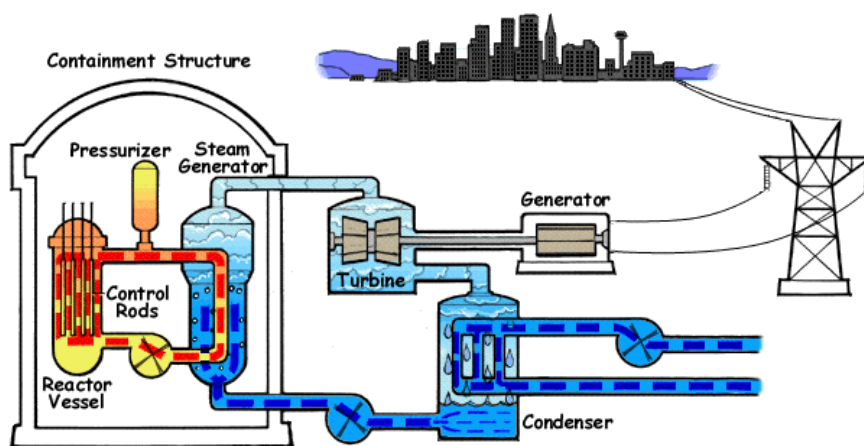


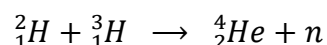
Fig. 30 – Reator Nuclear de Fissão³⁸

³⁸ Fig. 30 - <https://en.wikipedia.org/wiki/File:PressurizedWaterReactor.gif>

FUSÃO NUCLEAR

O processo de fusão nuclear consiste, basicamente, em dois núcleos leves se fundirem, formando com isso um núcleo mais pesado. Esse é o tipo de reação que ocorre nas estrelas, como o nosso sol, por exemplo, e em armas nucleares de fusão, como a bomba de hidrogênio ou também conhecida como bomba H.

Um exemplo comum de fusão nuclear ocorre com os isótopos do hidrogênio, um núcleo de deutério H-2 e um núcleo de trítio H-3. No processo, ocorre a formação de um núcleo de hélio He-4, mais um nêutron e energia.



A energia liberada pela fusão nuclear é em torno de 10 vezes maior do que a energia liberada pela fissão.

No entanto, este tipo de reação requer algumas condições muito especiais. É necessária uma quantidade muito grande de energia capaz de vencer as forças de repulsão coulombiana existentes entre os prótons dos núcleos do H-2 e H-3.

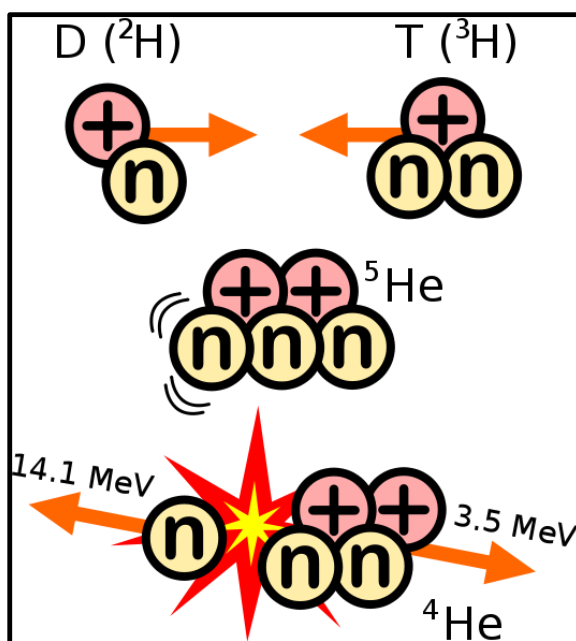


Fig. 31 – Fusão Nuclear ³⁹

No interior de uma estrela como o sol, as forças de repulsão eletrostática são vencidas pela enorme gravidade que gera altíssimas temperaturas, da ordem de milhões de kelvin. Nestas temperaturas o gás encontra-se no estado de plasma. A energia cinética dos núcleos é tão alta, sendo capaz, assim, de aproximá-los de tal forma que as interações nucleares passam a agir, ocorrendo desta forma a fusão entre os núcleos.

³⁹ Fig. 31 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:D-T_fusion.svg

Devido a enorme energia liberada pela fusão nuclear, os cientistas buscam incansavelmente uma maneira de utilizá-la na produção de energia elétrica em reatores de fusão nuclear.

Desde os anos 40, quando se descobriu a fonte de energia nuclear, imaginou-se que em um futuro não tão distante estaríamos utilizando esta fonte de maneira barata e inesgotável. Pensou-se que tudo ou quase tudo poderia ser movido por ela, desde carros e aviões até eletrodomésticos de uso diário em nossas casas. No entanto, décadas se passaram e isso ainda não se tornou realidade e, pelo que parece, ainda está longe de se tornar.

A energia a partir da fissão nuclear é utilizada nos dias de hoje, porém esta gera resíduos tóxicos e radioativos, além dos perigos que rondam os reatores. A geração de energia elétrica a partir do processo de fusão nuclear é a “menina dos olhos” de muitos cientistas, porém ainda não foi possível obter êxito neste tipo de reator. Apesar da grande quantidade de energia gerada pela fusão, o processo controlado ainda é ineficiente, pois com a tecnologia atual, ela consome mais energia do que gera.

Outro problema neste tipo de gerador são as altíssimas temperaturas necessárias para que os núcleos de deutério e trítio se fundam. Não existe material na Terra capaz de conter o plasma confinado no reator, sendo assim necessária a utilização de um confinamento magnético, necessitando de grande quantidade de energia e, ainda assim, o processo cessa antes do tempo necessário para que a reação em cadeia comece. No sol, este problema não ocorre devido a altas temperatura e pressão no seu interior.

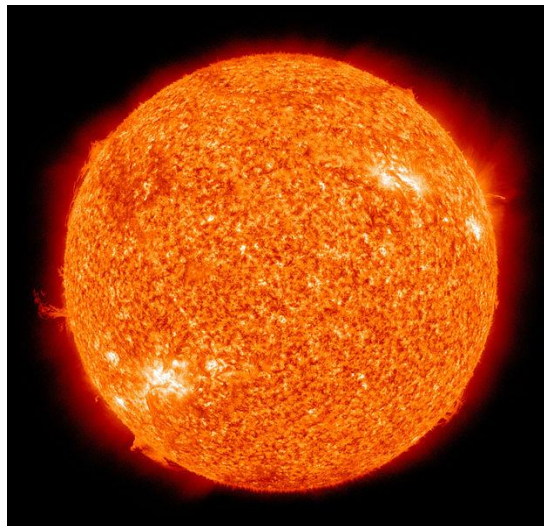


Fig. 32 - Sol⁴⁰

⁴⁰Fig. 32 -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Sun_by_the_Atmospheric_Imaging_Assembly_of_NASA%27s_Solar_Dynamics_Observatory_-_20100819.jpg

Diversos países têm investido em pesquisa, a fim de controlar o processo de fusão. Os reatores mais utilizados até então são os do tipo Tokamak (Tokamak Fusion Test Reactor), capazes de suportar as altas temperaturas do plasma mantendo-o longe de suas paredes a partir de campos magnéticos. No entanto, ainda são energeticamente ineficientes.

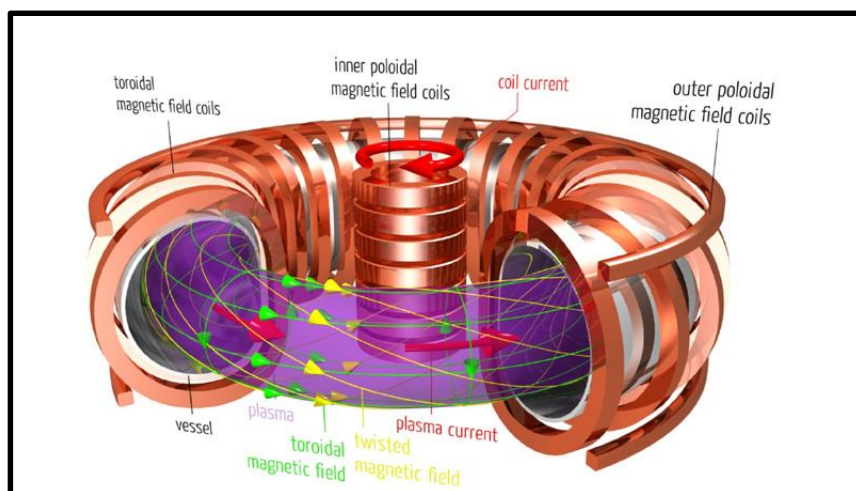


Fig. 33 – Esquema Reator Tokamak⁴¹

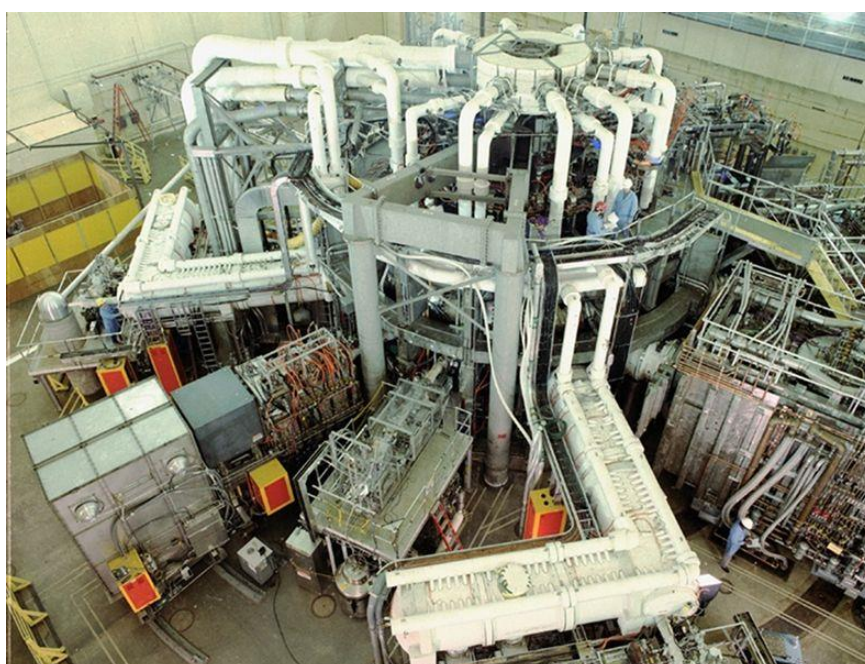


Fig. 34 – Foto: Tokamak Fusion Test Reactor⁴²

⁴¹ Fig. 33 - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokamak_\(scheme\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokamak_(scheme).jpg)

⁴² Fig. 34 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TFTR_1989.jpg

Atividade Proposta – Simulação Computacional

Com o uso do simulador PhET-Colorado, é possível visualizar os fenômenos da Fusão Nuclear, Fissão Nuclear e Reação em Cadeia.

Materiais

- Computador

Simulação 1 – Decaimento Beta

Procedimento

Primeira Parte – Único Átomo

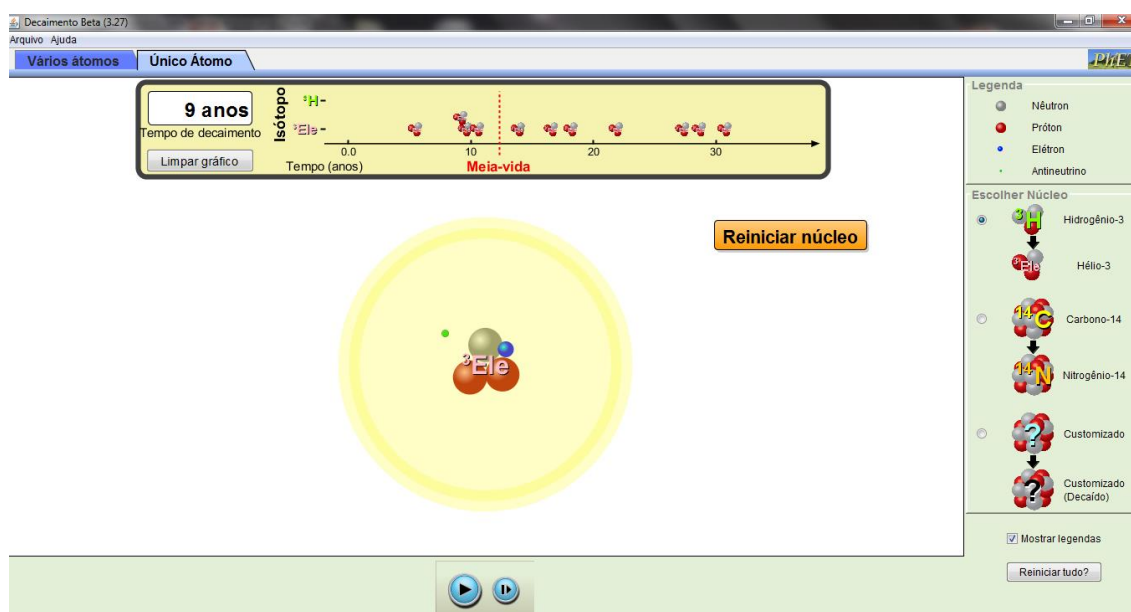


Fig. 35 – Decaimento Beta – Único Átomo⁴³

⁴³ Fig. 35 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay

- Simular o decaimento beta do Deutério, repetindo a emissão de átomos algumas vezes (sugestão: 15 vezes);
- Simular o decaimento beta do Carbono-14, repetindo a emissão de átomos algumas vezes (sugestão: 15 vezes).

Segunda Parte – Vários Átomos

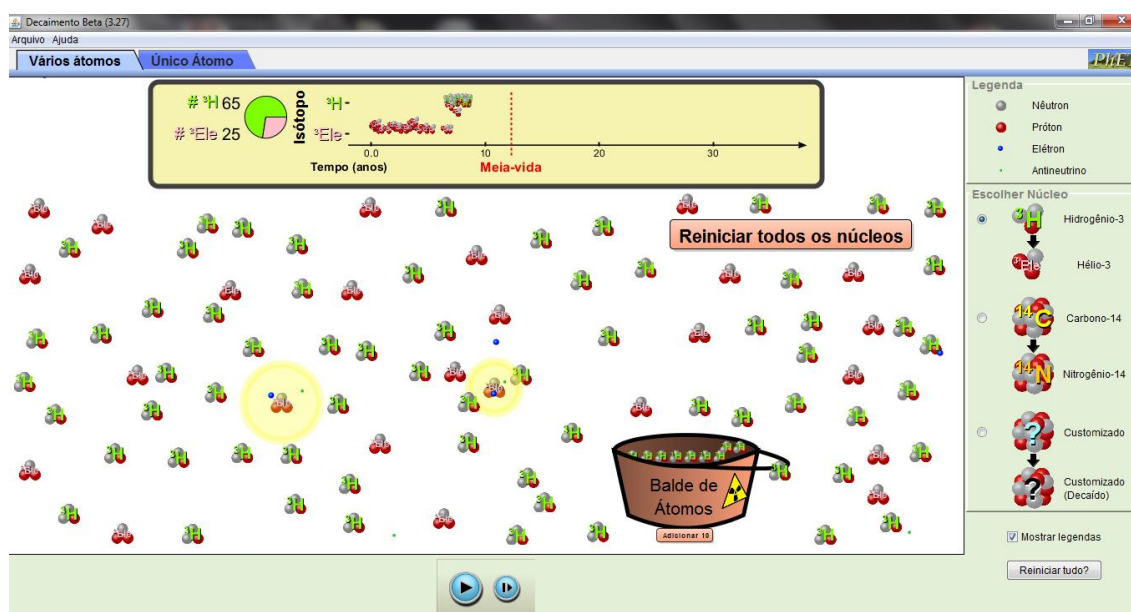


Fig. 36 – Decaimento Beta – Vários Átomos⁴⁴

- Adicionar átomos de Deutério que se encontram no balde de átomos e iniciar a simulação;
- Adicionar átomos de Carbono-14 que se encontram no balde de átomos e iniciar a simulação.

⁴⁴ Fig. 36 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay

Discussão em grupo

- 1- A partir da observação do tempo de decaimento para um único átomo, discutir os motivos pelos quais os tempos de decaimentos são diferentes para um mesmo elemento.
- 2- A partir da simulação com vários átomos, discutir sobre o porquê dos átomos não sofrerem decaimento todos ao mesmo tempo, relacionando, com a análise anterior.

Simulação 2 - Decaimento Alfa

Procedimento

Primeira Parte - Único Átomo

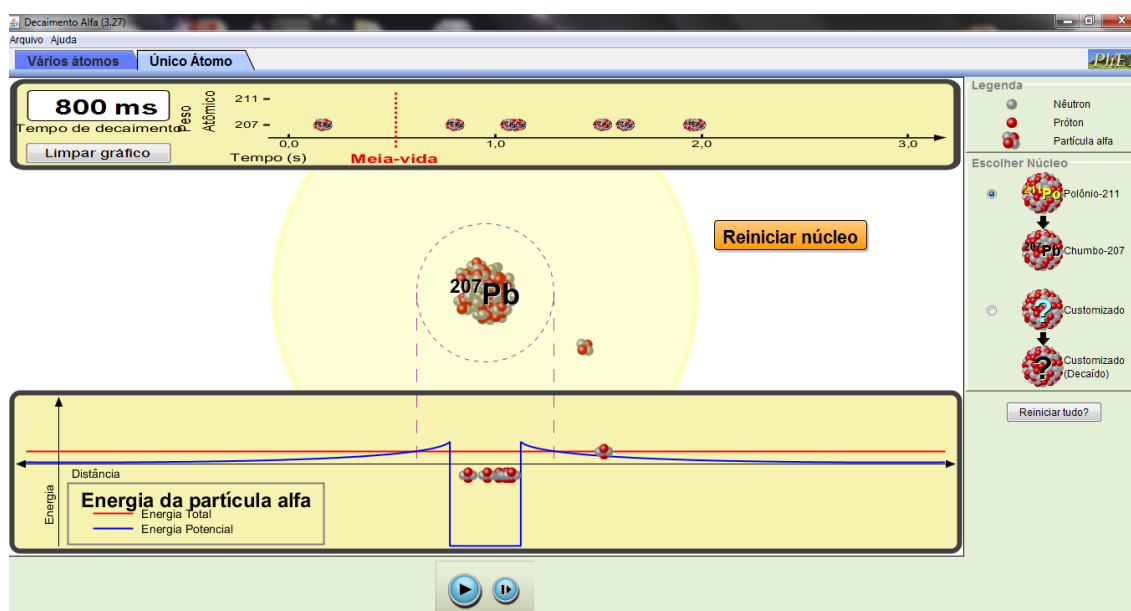


Fig. 37 – Decaimento Alfa – Único Átomo⁴⁵

⁴⁵ Fig. 37 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/alpha-decay

- Simular o decaimento alfa do Polônio-211, repetindo a emissão de átomos algumas vezes (sugestão: 15 vezes);

Segunda Parte – Vários Átomos

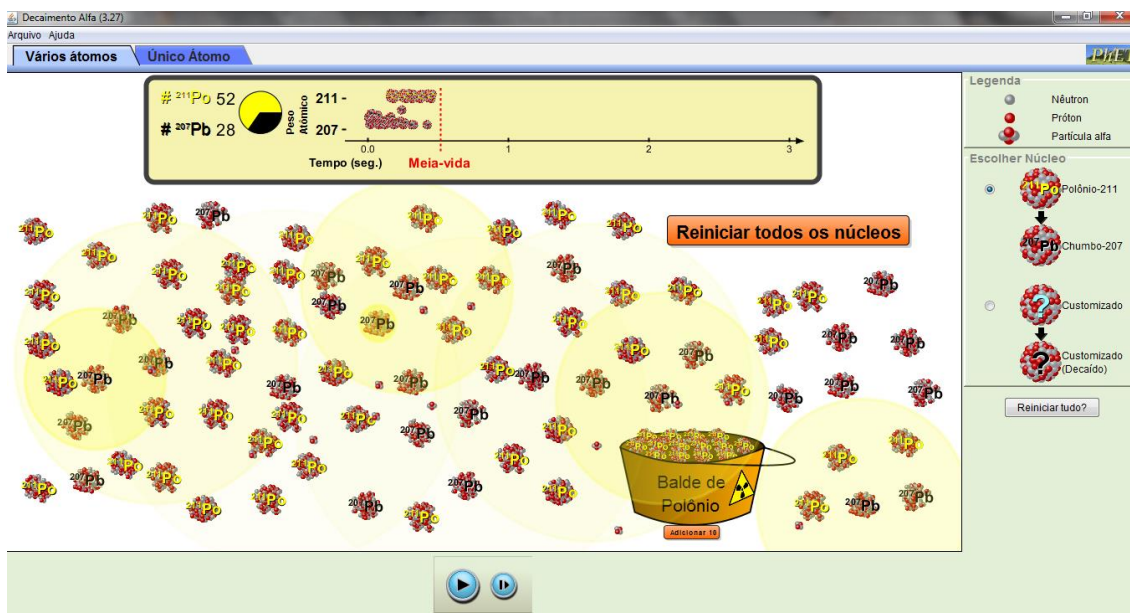


Fig. 38 – Decaimento Alfa – Vários Átomos⁴⁶

- Adicionar átomos de Polônio-211 que se encontram no balde de átomos e iniciar a simulação;

Discussão em grupo

- 1- A partir da observação do tempo de decaimento para um único átomo, discutir os motivos pelos quais os tempos de decaimentos são diferentes para um mesmo elemento.
- 2- A partir da simulação com vários átomos, discutir sobre o porquê dos átomos não sofrerem decaimento todos ao mesmo tempo, relacionando, com a análise anterior.

⁴⁶ Fig. 38 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/alpha-decay

Simulação 3 - Fissão Nuclear

Procedimento

Primeira Parte - Fissão: Um Núcleo

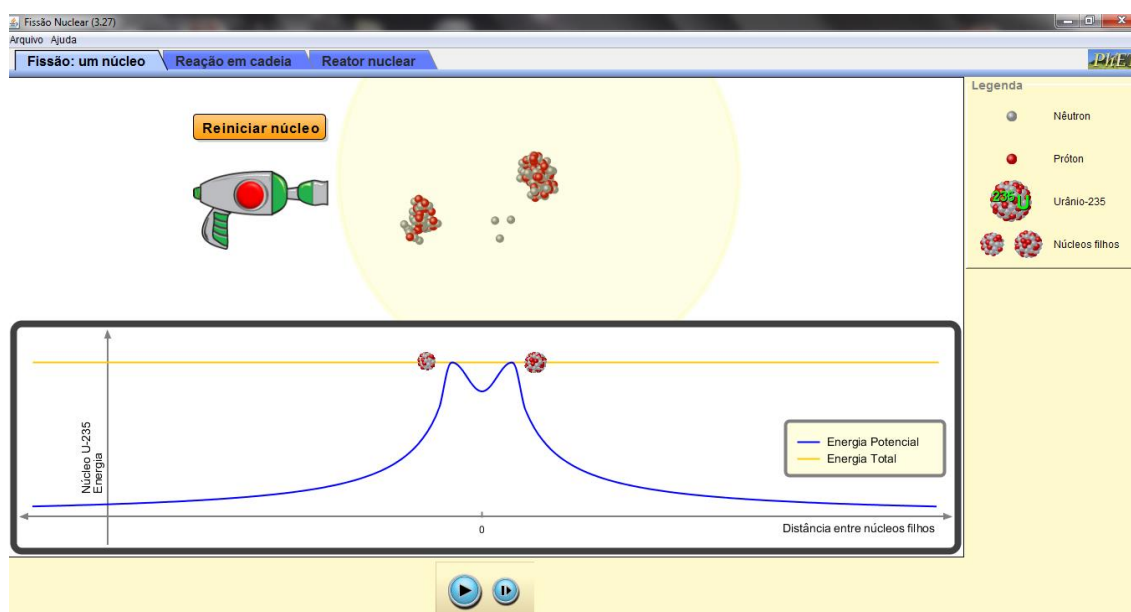


Fig. 39 – Fissão – Um Núcleo⁴⁷

- Disparar um nêutron fazendo com que o Urânio-235 sofra fissão.

⁴⁷ Fig. 39 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission

Segunda Parte – Reação em cadeia

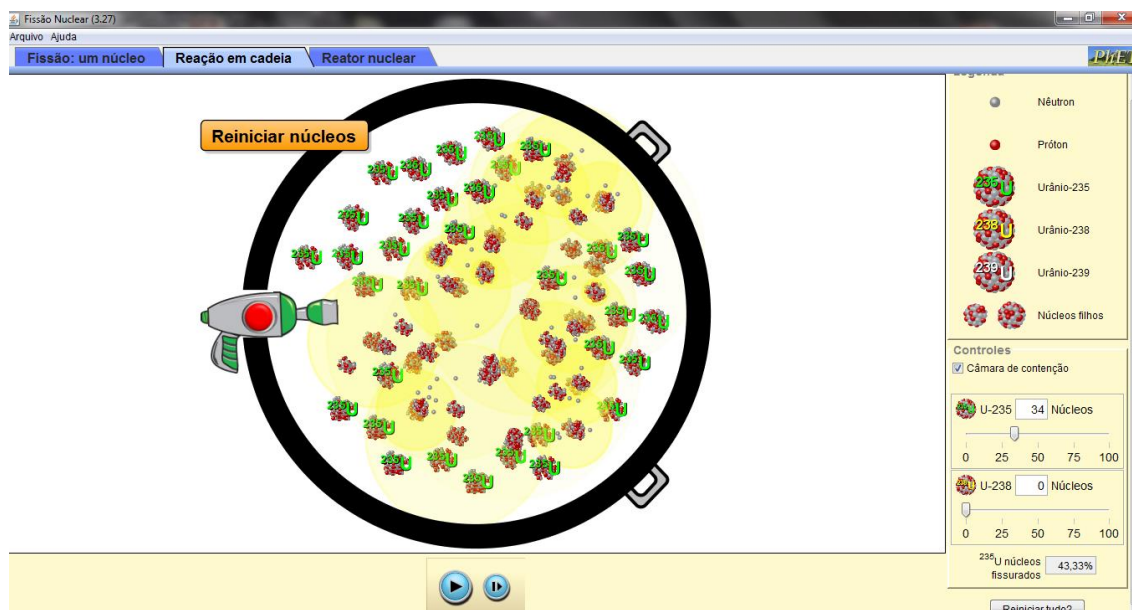


Fig. 40 – Reação em cadeia⁴⁸

- Adicionar um núcleo de Urânio-235 e disparar o nêutron;
- Adicionar um núcleo de Urânio-238 e disparar o nêutron;
- Adicionar vários núcleos (limite 100) de Urânio-235 e disparar o nêutron;
- Adicionar vários núcleos (limite 100) de Urânio-238 e disparar o nêutron;
- Adicionar vários núcleos de Urânio-235 e de Urânio-238 juntos e disparar o nêutron;
- Selecionar a câmara de contenção e adicionar núcleos, variando a proporção, entre U-235 e U-238;
- Aumentar as dimensões da câmara de contenção, fazendo com que caiba um número maior de núcleos, variando a proporção entre U-235 e U-238.

⁴⁸Fig. 40 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission

Terceira Parte – Reator Nuclear

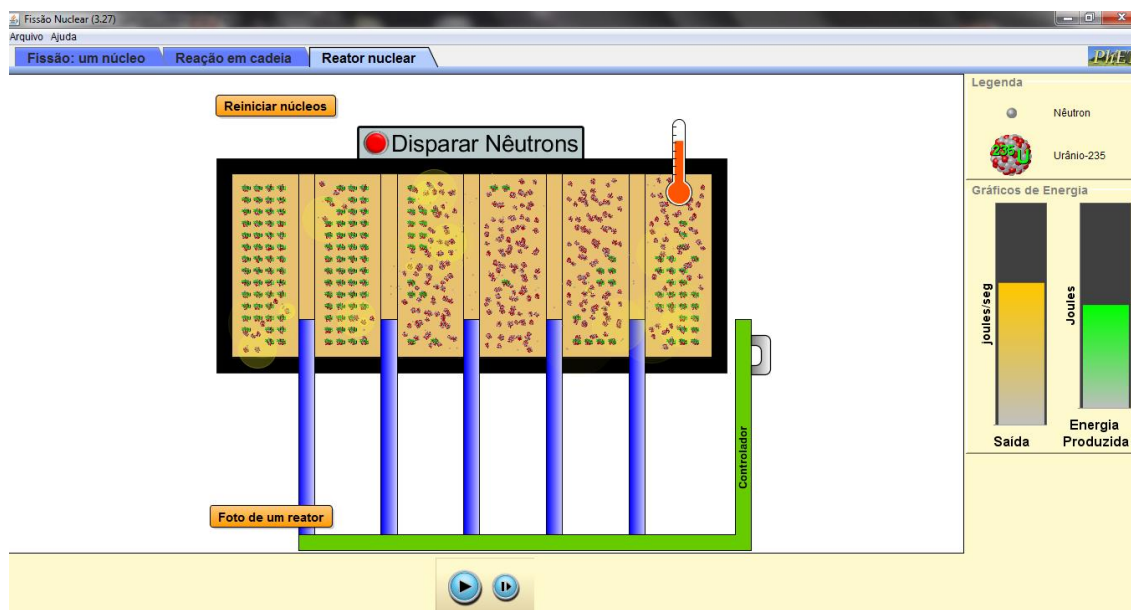


Fig. 41 – Reator Nuclear⁴⁹

- Disparar nêutrons sem baixar as barras de contenção;
- Disparar nêutrons variando a posição das barras de contenção.

Discussão em grupo

- 1- Analisar o que ocorre com a energia do núcleo quando o absorve o nêutron;
- 2- Discutir o produto da fissão;
- 3- Analisar o processo da fissão com vários núcleos, discutindo as diferenças na reação quando se varia a proporção entre os núcleos de U-235 e U-238;
- 4- Entender o que ocorre quando se cria uma câmara de contenção;

⁴⁹Fig. 41 - https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/nuclear-fission

- 5- Perceber que é necessária uma massa acima de um valor mínimo de núcleos físseis para que uma explosão nuclear ocorra;
- 6- Observar a importância das barras de contenção em um reator nuclear;
- 7- Relacionar o número de fissão com a energia produzida por segundo e no total.

REFERÊNCIAS

ATOM: A Clash of the Titans. Direção de Tim Usborne. Produção de Tim Usborne. [s.i]: Bbc, 2007. (60 min.), DVD, son., color. Legendado. Série Atom.

AVANCINI, S. S.; MARINELLI, J. R. **Tópico de Física Nuclear e Partículas Elementares**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2009.

MARINELLI, J. R. Enxergando o núcleo atômico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 6, n. 3, p. 234-240, 1989.

MENEZES, L. C. et al. **Quanta Física: 3º ano**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica- Física**. Paraná, 2008.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física: Do átomo grego ao átomo de Bohr**. 2008.

PINHO-ALVES, J; PINHEIRO, T. F. **Instrumentação para o Ensino de Física A**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2010.

SANTOS, C. A. **Tópicos de Física Moderna**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2007.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física: Física Moderna: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria**. v.3. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.