



**Universidade Estadual de Campinas**  
**Instituto de Física Gleb Wataghin - IFGW**

**Érica Talita Brugliato**

**Um estudo com licenciandos em física sobre a energia nuclear em  
livros didático e textos de divulgação científica**

**A study with physics teacher training on nuclear energy in didactic  
book and scientific divulgation texts**

**Campinas**

**2020**

**Érica Talita Brugliato**

**Um estudo com licenciandos em física sobre a energia nuclear em livros didático e textos de divulgação científica**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM) da Universidade Estadual de Campinas como requisitos à obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências e Matemática

**Orientadora: Maria José P. M. de Almeida.**

**Campinas**

**2020**

**Arquivo digital corresponde à versão final da tese, defendida pela aluna Érica Talita Brugliato e orientada pela professora Maria José P. M. de Almeida**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Física Gleb Wataghin  
Lucimeire de Oliveira Silva da Rocha - CRB 8/9174

B833e Brugliato, Érica Talita, 1990-  
Um estudo com licenciandos em física sobre a energia nuclear em livros didáticos e textos de divulgação científica / Érica Talita Brugliato. – Campinas, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Maria José Pereira Monteiro de Almeida.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin.

1. Livros didáticos. 2. Divulgação científica. 3. Energia nuclear. 4. Licenciatura - Física. 5. Análise do discurso. I. Almeida, Maria José Pereira Monteiro de, 1944-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física Gleb Wataghin. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** A study with physics teacher training on nuclear energy in didactic book and scientific divulgation texts

**Palavras-chave em inglês:**

Textbooks  
Scientific dissemination  
Nuclear energy  
Degree in Physics  
Discourse analysis

**Área de concentração:** Ensino de Ciências e Matemática

**Titulação:** Doutora em Ensino de Ciências e Matemática

**Banca examinadora:**

Maria José Pereira Monteiro de Almeida [Orientador]  
Marcelo Giordan Santos  
Maria Inês de Freitas Petrucci dos Santos Rosa  
Maurício Urban Kleinke  
Ivã Gurgel

**Data de defesa:** 27-02-2020

**Programa de Pós-Graduação:** Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)  
- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-7237-7550>  
- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/1886002087302779>

## **Comissão Examinadora<sup>1</sup>**

Dra. Maria José Pereira Monteiro de Almeida

Dr. Marcelo Giordan Santos

Dra. Maria Inês de Freitas Petrucci dos Santos Rosa

Dr. Maurício Urban Kleinke

Dr. Ivã Gurgel

---

<sup>1</sup> A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

**À minha mãe**

Por me ensinar que o estudo é a chave do mundo!

## **Agradecimentos**

Agradeço, primeiramente a Deus. Sem sua mão guiando minha vida não seria capaz de chegar onde cheguei. Sem seus ouvidos não teria conseguido me reerguer após cada queda que sofri. Nada acontece se não for pela tua vontade.

Agradeço imensamente a minha orientadora, por todo suporte oferecido desde o início do mestrado, mas, em especial, ao longo de todo o doutorado. Tenho certeza que, muitas vezes, quando pensei em desistir foram seus conselhos e apoio que não permitiram.

Minha irmã, Aurea, sem sombras de dúvidas merece também um agradecimento mais do que especial. Quantas vezes me aguentou desesperada, sem rumo, cheia de incertezas, sem saber o que esperar do ano seguinte, o que esperar do fim do doutorado, o que esperar da vida..., mas sempre ali, do meu lado, me apoiando e me dando suporte. Meu irmão, Ricardo, também precisa ser pontuado aqui, embora não tão próximo, é o responsável por eu ter chegado onde cheguei, me apoiando durante toda a graduação e não me deixando desistir quando as coisas pareciam ser impossíveis.

Aos colegas do gepCE por todas as reuniões e colaborações feitas para o desenvolvimento dessa tese, com certeza nossas reuniões foram parte importante do doutorado.

Dentre os colegas do gepCE, não posso deixar de destacar aqueles que se tornaram mais do que colegas. Tati, não tenho nem palavras para expressar o quão importante você foi nessa jornada! Todas as nossas conversas no trajeto Valinhos-Unicamp desde o mestrado, todas as nossas idas a Águas, todos os nossos choros e tudo o que a vida teve a sacanagem de nos reservar nos tornou o que somos hoje. Um dia me disseram que a Unicamp sempre nos dá um amigo para a vida toda e hoje tenho certeza disso! Albertoooo!!!! Parceiro de rolês, de ressacas, do carnaval mais insano da vida, do Nárnia e até da Folk (sim, eu consegui!), mas, mais do que isso, companheiro de lamentações, de estudos e de trocas de conhecimentos. Wanderson, Flávia, Priscila e Dayvid, o que seria do Gepetinho sem vocês!! Quantas histórias. Com certeza fazem parte de mim.

Também gostaria muito de agradecer aquelas pessoas que fazem parte da minha vida e com quem sei que posso contar em todas as ocasiões. Marisa, Denise e Aline. Ah Aline, prima minha...é...todas as vezes que a “barra” ficou pesada foi com você que contei. Sei que sem você para me ouvir, seus conselhos e sua mão sempre estendida, eu não estaria aqui!

Por fim, o meu agradecimento mais sincero e profundo a minha mãe, Selma. Queria mais do que qualquer coisa que você estivesse aqui para poder ver que todos nós nos tornamos seu reflexo. Tudo o que sempre nos disse faz parte de nossas vidas hoje e se conseguimos chegar onde chegamos, com a maior certeza do universo, digo que foi graças a você! Você, que nunca nos deixou sequer parar no meio de um livro, e com isso nos ensinou que mesmo quando as coisas parecem não ser o que queremos, mesmo quando o mundo parece virar de cabeça para baixo, mesmo quando tudo parece fora do lugar, nunca devemos nos deixar vencer, nossa luta deve ser diária e nossa força vem das pessoas e amamos e que nunca nos deixam...

Foram tantas mudanças ao longo desses quatro anos de doutorado, foram tantos os aprendizados que encerro esse ciclo agradecendo à vida por tudo!!

## **Um estudo com licenciandos em física sobre a energia nuclear em livros didático e textos de divulgação científica**

**Érica Talita Brugliato**

ericabrugliato@gmail.com

### **Resumo**

Neste estudo temos como conteúdo físico central, noções de Energia Nuclear que podem ser trabalhadas com alunos do Ensino Médio. Nele, nos propomos a levar para licenciandos em física trechos extraídos de livros didáticos, feitos para o Ensino Médio, e de divulgação científica sobre alguns elementos da Energia Nuclear. Com isso, nosso objetivo era compreender como o tema Energia Nuclear era apresentado nos livros didáticos e nos materiais de divulgação, além de compreender como alunos ingressantes no curso de licenciatura em física atribuíam sentidos para o uso desses recursos em sala de aula do Ensino Médio. Buscando atingir nossos objetivos, apresentamos noções que embasam a produção e distribuição do livro didático na rede pública de ensino no Brasil e algumas noções que caracterizam o tipo de discurso da divulgação científica, além de noções relacionadas à Energia Nuclear. Para a análise dos dados, apoiamos-nos em noções da análise do discurso cuja linha utilizada teve início na França com Michel Pêcheux. A nossa unidade de ensino, desenvolvida ao longo de três semanas, convidou os licenciandos a efetuarem a leitura de trechos extraídos do livro didático e dos textos de divulgação científica, responderem a questionários sobre a atividade e discutirem junto à sala sobre esses recursos. Observamos que os tipos de discursos selecionados são compostos por subtipos que possibilitam grandes diferenças dentro de um mesmo tipo, assim, embora tenhamos trabalhado com três livros didáticos, cada um deles possuía características únicas, o mesmo aconteceu com os textos de divulgação científica. Entretanto, aparentemente, o que motivou os alunos a participarem das atividades e das discussões não foi o subtipo de discurso, mas sim o assunto sobre o qual ele versava. Já com relação ao uso desses materiais, alguns alunos apresentam indícios de corroborarem com a autora, no sentido de acreditar que o uso de diferentes recursos pode auxiliar no processo de aprendizado. Entretanto, o livro didático, embora apontado como recurso que os licenciandos utilizariam em suas aulas, nas discussões ainda apresentou indícios de lhes causar certo repúdio, o que torna o assunto controverso, uma vez que o discurso da maioria dos alunos é contra esse recurso, porém ainda é o mais utilizado em sala de aula e nas propostas de aulas por eles elaboradas.

**Palavras-chaves:** Livro didático; Divulgação Científica; Energia Nuclear; Licenciatura em Física; Análise do discurso

# **A study with physics teacher training on nuclear energy in didactic book and scientific divulgation texts**

**Érica Talita Brugliato**

ericabrugliato@gmail.com

## **Abstract**

In this study we have as core physical content, notions of Nuclear Energy that can be worked with high school students. In it, we propose to take to physics teacher training excerpts from textbooks, made for high school, and scientific dissemination about some elements of Nuclear Energy. Thus, our goal was to understand how the topic Nuclear Energy was presented in textbooks and dissemination materials, and understand how students entering in physics teacher training course assigned directions for the use of these resources in the high school classroom. Seeking to achieve our goals, we present notions that support the production and distribution of the textbook in the public school system in Brazil and some notions that characterize the type of discourse of scientific dissemination, as well as notions related to Nuclear Energy. For data analysis, we rely on notions of discourse analysis whose line started in France with Michel Pêcheux. Our teaching unit, which was developed over the course of three weeks, invited graduates to read excerpts from the textbook and science-related texts, answer questionnaires about the activity and discuss with the classroom about these resources. We observed that the types of speeches selected are composed of subtypes that allow great differences within the same type, so, although we worked with three textbooks, each one of them had unique characteristics, as did the texts of scientific dissemination. Apparently, however, what motivated the students to participate in the activities and discussions was not the discourse subtype, but the subject he was talking about. Regarding the use of these materials, some students show evidence of corroborating with the author, in the belief that the use of different resources can help in the learning process. However, the textbook, although pointed out as a resource that undergraduates would use in their classes, still showed evidence of causing them some repudiation, which makes the subject controversial, since the discourse of most students is against this feature, however, it is still the most used in the classroom and in the class proposals developed by them.

**Keywords:** Didactic Book; Scientific Divulgation; Nuclear Energy; Degree in Physics; Discourse Analysis

## **Lista de Abreviações**

ABRALE - Associação Brasileira dos Autores de Livros Educativos

ABRELIVROS - Associação Brasileira de Editores de Livros

Ad – Análise de Discurso

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CBL - Câmara Brasileira do Livro

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

DC – Divulgação Científica

EJA – Educação de Jovens e Adultos

EM – Ensino Médio

ENPEC - o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências

EPEF - Encontro de Pesquisa em Ensino de Física

EPR - Einstein-Podolsky-Rosen

EUA – Estados Unidos da América

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FMC – Física Moderna e Contemporânea

FNDE - Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

IGL - Instituto Goiano de Radiologia

INL – Instituto Nacional do Livro

Ipasgo - Instituto de Previdência e Assistência do Estado de Goiás

LD – Livro Didático

LHC - Large Hadron Collider

MEC – Ministério da Educação

PED – Programa de Estágio Docente

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

PNLEM – Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

PP – Professora Pesquisadora

PT – Professor Titular

SNEF - Simpósio Nacional de Ensino de Física

SNEL - Sindicato Nacional dos Editores de Livros

Usaid - Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional

## **Lista de Figuras**

Figura 1 - Representação do funcionamento de uma usina nuclear	31
Figura 2 - Gráficos sobre a matriz energética mundial	32

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Respostas sobre o uso de exercícios em sala de aula	93
Gráfico 2 - Respostas sobre o uso de problemas em sala de aula	94
Gráfico 3 - Respostas sobre o uso de textos literários em sala de aula	95
Gráfico 4 - Respostas sobre o uso de textos históricos em sala de aula	95
Gráfico 5 - Respostas sobre o uso de história em quadrinhos em sala de aula	96
Gráfico 6 - Respostas sobre o uso de atividade experimental em sala de aula	97
Gráfico 7 - Respostas sobre o uso de vídeos em sala de aula	99
Gráfico 8 - Respostas sobre o uso da voz do professor em sala de aula	100
Gráfico 9 - Respostas sobre o uso da Lousa e do Giz em sala de aula	101
Gráfico 10 - Respostas sobre o uso de computador em sala de aula	102
Gráfico 11 - Respostas dos alunos sobre o uso do Livro Didático no Ensino Médio	103
Gráfico 12 - Respostas dos alunos sobre o uso de textos de Divulgação Científica	106
Gráfico 13 - Respostas dos alunos sobre contribuições dos recursos para melhorar a formação cultural	110
Gráfico 14: Respostas dos alunos sobre contribuições dos recursos para aprender física	110
Gráfico 15: Respostas dos alunos sobre o tipo de leitura que eles gostam de realizar	113
Gráfico 16: Recursos utilizados pelos licenciandos para estudar física quando estavam no Ensino Médio	116

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Relação dos textos lidos por cada estudante

125

# Sumário

<b>Introdução e justificativa</b> .....	13
<b>1. Pesquisas em Leitura sobre Energia Nuclear</b> .....	17
<b>2. Caracterizações e Apoio teórico-metodológico</b> .....	24
<b>2.1. Noções de Energia Nuclear</b> .....	24
<b>2.2. Temas abordados</b> .....	28
<b>2.3. Os livros didáticos no Ensino Médio</b> .....	34
<b>2.4. Os textos de divulgação científica</b> .....	45
<b>2.5. A Análise do discurso</b> .....	50
<b>2.6. A leitura na análise do discurso</b> .....	59
<b>2.7. O dispositivo analítico</b> .....	61
<b>3. A energia nuclear em livros didáticos e em textos de divulgação científica</b> .....	63
<b>3.1. Os textos extraídos de livros didáticos</b> .....	63
<b>3.2. Os textos extraídos de Divulgação Científica</b> .....	73
<b>4. Condições de produção do estudo com os licenciandos em Física</b> .....	86
<b>4.1 Participação preliminar em sala de aula</b> .....	86
<b>4.2 A pesquisadora como professora</b> .....	88
<b>5. Análise das informações coletadas junto aos licenciandos</b> .....	92
<b>5.1 Os questionários em geral</b> .....	92
<b>5.2 Posições dos alunos sobre o uso do Livro Didático</b> .....	103
<b>5.3 Posições dos alunos sobre o uso de textos de Divulgação Científica</b> .....	106
<b>5.4 Posições dos alunos sobre os recursos pedagógicos</b> .....	109
<b>5.5 Questionário referente à leitura de trechos de Livros Didáticos</b> .....	113
<b>5.6 Questionário referente à leitura de trechos de Divulgações Científicas</b> .....	124
<b>5.7. A proposta de aula</b> .....	131
<b>5.8. As respostas de dois alunos</b> .....	133
<b>5.9. Alguns áudios das aulas</b> .....	148
<b>Conclusão e Considerações Finais</b> .....	160
<b>Referências bibliográficas</b> .....	168
<b>Anexos e Apêndices</b> .....	178
Apêndice .....	179
Anexos .....	190

### **Introdução e justificativa**

O interesse em realizar este estudo partiu do trabalho realizado durante o mestrado, no qual a proposta foi trabalhar com diferentes tipos de discursos com alunos do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública e compreender como esses alunos produziram sentidos sobre o tema Bomba Atômica ao lerem esses materiais (BRUGLIATO, 2016).

Naquele trabalho utilizamos cinco tipos de discursos: um filme sobre o assunto, trechos extraídos de um livro paradidático, de um de divulgação científica, de uma história em quadrinhos e de um roteiro teatral. Com essa proposta notamos, assim como Almeida e Sorpreso (2011), que as condições de produção de sentidos estão associadas ao tipo de discurso trabalhado, que pode contribuir para interpretações e possíveis formulações de discursos com características de uma repetição empírica, formal ou histórica.

Concluímos com aquele estudo que os tipos de discurso trabalhados, embora todos sobre o mesmo assunto, apresentavam diferenças muito significativas entre si. Ou seja, o texto de divulgação científica apresentava recursos muito diferentes da história em quadrinhos, por exemplo, sejam esses recursos gráficos, estruturais e/ou com relação à linguagem apresentada. Porém não houve tempo para um aprofundamento maior em relação a essa observação.

Diante disso, no doutorado resolvemos focar o tema nessas diferenças, e também nas semelhanças, que dois tipos de discursos apresentam, um em relação ao outro. Além das semelhanças e das diferenças no caso de um mesmo tipo discursivo, visto que, durante a escolha do material a se trabalhar foi observado que, um mesmo tipo de discurso trazia elementos diferentes. Exemplificando: dois livros didáticos, embora sejam considerados do mesmo tipo, apresentam diferenças que podem ser compreendidas.

Optamos por realizar nosso estudo com três livros didáticos de física, voltados para o Ensino Médio e aprovados pelo PNLD e com textos extraídos de quatro materiais de divulgação científica. O livro didático não havia sido um recurso que escolhemos para trabalhar no mestrado, entretanto, sua presença no projeto de doutorado aconteceu por ele, aparentemente, ser o tipo de discurso mais presente na Educação Básica, para o qual é destinada uma verba federal e, espera-se, muita atenção no processo de seleção desse recurso didático. Já o interesse na divulgação científica partiu do fato de que, durante a escolha do material a ser trabalhado no mestrado foi possível notar grandes diferenças

nesse tipo de discurso. Além disso, contamos com o apoio de vários trabalhos realizados no âmbito do grupo de estudo e pesquisa em Ciência e Ensino (gepCE), do qual a autora e sua orientadora fizeram parte durante a escrita deste trabalho. Dentre os estudos realizados nesse grupo citamos aqui a tese de Brasileiro (2013); a dissertação de Girdelli (2007); e artigos como os de Almeida e Ricon (1993); Silva, Almeida e Hallack (2015) e; Pagliarini e Almeida (2016).

No grupo de pesquisa também foram desenvolvidos alguns estudos relacionados à física moderna e contemporânea, como a dissertação e a tese de Sorpreso (2008; 2013), a dissertação de Oliveira (2013) Silva (2012) e de Silva (2013), a tese de Pereira (2017) e também a de Pagliarini (2016). Entretanto, destacamos que, embora tenhamos estudos relacionados ao discurso e aos tipos de discursos, bem como relacionados ao mesmo conteúdo físico ao qual nos propomos olhar, a intersecção desses elementos ainda não foi estudada.

A opção por trabalhar com alunos do Ensino Superior, cursando uma licenciatura em física no início do curso, aconteceu por acreditarmos que esse seria um modo adequado para obter as representações desses estudantes sobre os tipos de discursos utilizados no Ensino Médio, já que eles ainda poderiam ter muito presente em seus discursos o entendimento que haviam tido como alunos do Ensino Médio, ao mesmo tempo que já teriam algumas disciplinas pedagógicas, o que poderia permitir que formulassem discursos também a partir dessa condição de produção. Assim, pensamos que o conteúdo poderia ser mais abrangente e, ao mesmo tempo permitir uma certa continuidade. Consideramos que isso seria possível se o tema trabalhado fosse Energia Nuclear, mas mantendo recursos e metodologias que poderiam ser utilizados no Ensino Médio e também no Superior.

Diante do que foi apresentado temos como intenção apresentar algumas noções sobre o livro didático e a divulgação científica, buscando algumas semelhanças e diferenças entre eles em se tratando de um mesmo tipo de discurso.

Temos como objetivo, compreender como o tema Energia Nuclear é apresentado em dois tipos de discursos e as representações de alunos do primeiro ano do curso de licenciatura em física, sobre possíveis produções de sentidos por alunos no Ensino Médio, podendo facilitar ou não o estudo da Energia Nuclear.

Com isso, formulamos nossas questões de estudo da seguinte forma:

*1) Como é apresentado o tema Energia Nuclear em diferentes livros didáticos?*

*2) Como é apresentado o tema Energia Nuclear em diferentes textos de divulgação científica?*

*3) Como estudantes cursando uma licenciatura em Física se posicionam sobre a possibilidade do uso do livro didático e de textos de divulgação científica no Ensino Médio?*

Portanto, partimos de um tema que algumas vezes não chega a ser trabalhado no ensino médio e propomos estudar como os licenciandos em física entendem seu ensino e como ele pode acontecer por meio de dois tipos de discursos. Acreditamos que esse trabalho seja relevante no sentido de repensar o uso do livro didático e também levar os licenciandos a refletirem sobre formas de aproximar o assunto dos estudantes do ensino médio.

Para nos guiar na tentativa de responder essas questões, estruturamos este trabalho da seguinte forma:

No primeiro capítulo, realizamos uma revisão bibliográfica nos principais eventos e periódicos da área de Ensino de física e de Ensino de Ciências. Tal revisão partiu de trabalhos que apresentassem em seu título ou palavras chaves o termo leitura, em seguida restringimos àqueles que tratavam de livros didáticos e/ou divulgação científica e, por fim, os que fossem relacionados com o ensino de física moderna e contemporânea. Tal revisão nos permitiu ter um entendimento geral de como atividades com esses recursos estão sendo, ao longo dos anos, desenvolvidas em ambiente escolar

No segundo capítulo apresentamos algumas noções que acreditamos serem importantes para compreender melhor a opção que fizemos para a atividade proposta neste trabalho. Assim, apresentamos, primeiramente, algumas noções sobre Energia Nuclear, em seguida algumas sobre o livro didático do Ensino Médio, algumas características e legislações que, atualmente, os regulamentam. Nesse ponto, buscamos fazer uma reflexão sobre esse recurso. De maneira semelhante, apresentamos noções sobre os textos de divulgação científica, alguns elementos que o compõem, quem são seus autores e sujeitos a quem se destinam, por fim, trazemos noções sobre análise do discurso e sobre a leitura com base nesse referencial, além de apresentarmos nosso dispositivo analítico.

No terceiro capítulo buscamos apresentar com mais atenção o material que selecionamos para desenvolver a unidade de ensino. Aqui, apresentamos e discutimos elementos do livro didático e da divulgação científica.

O capítulo destinado às condições de produção é o quarto, nele buscamos caracterizar nossos sujeitos e as condições imediatas e, na medida do possível, as históricas do grupo. Além disso também apresentamos algumas atividades que foram realizadas.

No quinto capítulo analisamos as informações que obtivemos ao longo do desenvolvimento de nossa proposta em sala de aula. Temos uma análise direcionada para os recursos que utilizamos, buscando indícios de semelhanças que eles apresentam entre si e também de possíveis diferenças. Analisamos também o material obtido com o desenvolvimento da atividade empírica em busca de compreender as representações dos alunos sobre o tema escolhido e eventuais possibilidades de se trabalhar com alunos do Ensino Médio e com os recursos utilizados na atividade.

Tecemos ao final algumas considerações sobre os recursos utilizados e o desenvolvimento da atividade, buscando pensar nossas questões de estudo e refletir sobre os objetivos iniciais.

## 1. Pesquisas em Leitura sobre Energia Nuclear

Para a revisão partimos do termo leitura, uma vez que o interesse perpassa uma forma de se trabalhar com a leitura de tipos de discurso em sala de aula, assim, consideramos que um primeiro limitador deveria ser esse. Buscamos trabalhos com o termo no título ou palavras chave. Após selecionarmos os estudos nos propusemos a apresentar uma revisão daqueles que utilizam o livro didático e/ou a divulgação científica no ensino de física moderna e contemporânea.

A revisão aconteceu nos seguintes periódicos, Revista Alexandria; Caderno Brasileiro de Ensino de Física; Cadernos CEDES; Ciência e Educação; Ciência & Ensino; Revista Em Aberto; Revista Ensaio; Experiências em Ensino de Ciências; Investigações em Ensino de Ciências; Leitura, Teoria e Prática; Pró-posições; Revista Brasileira de Ensino de Física; Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias; e em três encontros de pesquisa, o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) e o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF). A revisão foi feita em todos os volume e edições disponibilizadas online.

Com essas condições encontramos 9 trabalhos em periódicos e 16 trabalhos em eventos, os quais apresentamos brevemente neste capítulo.

Sobre física moderna, em periódicos, temos cinco trabalhos, sendo que: Silva e Almeida (2014a) buscaram compreender como se dá o funcionamento de um texto de divulgação científica, considerado de alto grau de dificuldade, trabalhado com alunos do Ensino Médio sem modificações. O texto escolhido pelos autores versava sobre o tema ressonância magnética e foi escolhido a partir do interesse dos alunos. Eles concluíram que, mesmo o tema sendo de interesse dos alunos, o alto grau de dificuldade de interpretação faz com que muitos deles percam o interesse, dessa forma, os autores enfatizam que a escolha do material que será levado para a escola é fundamental, já que ele deve ser adequado ao nível de ensino para o qual se propõe o trabalho; os mesmos autores (2014b) propõem compreender como estudantes do Ensino Médio produzem sentidos a partir da leitura de um outro texto de divulgação científica também sobre o tema ressonância magnética e seus resultados sugerem que esse tipo de atividade pode auxiliar o aluno a desenvolver a capacidade de leitura e destacam a importância do professor como mediador, enquanto alguém com condições de modificar as condições de

produção de sentidos dos alunos; Silva, Almeida e Hallak (2015) analisaram como ingressantes na universidade produziam sentidos sobre o paradoxo EPR (Einstein-Podolsky-Rosena) a partir da leitura de fragmentos de um texto de divulgação científica e concluíram que os alunos tiveram muita dificuldade na leitura, mas ela aparentou ter proporcionado pequenos incrementos nas histórias de leitura dos sujeitos; Silva e Almeida (2015) verificaram se a explicitação de relações da física com aspectos de objetos tecnológicos contemporâneos mobilizava estudantes do Ensino Médio a estudarem a disciplina e obtiveram resultado positivo com relação à mobilização dos alunos diante de textos de divulgação científica; Pagliarini e Almeida (2016) buscaram compreender as interpretações de estudantes do Ensino Médio sobre atividades de leitura sobre física quântica e notaram que esse tipo de atividade, com divulgação científica, não faz parte do cotidiano escolar dos alunos e por isso houve uma produção de sentidos muito variada o que possibilitou uma maior interação do professor como mediador da atividade.

Relacionados a elementos da energia nuclear publicados em periódicos temos, Dias e Almeida (2009, 2010) que tiveram o objetivo de compreender como licenciandos em física atribuíam sentidos à leitura de textos de divulgação científica publicados nas revistas *Ciência Hoje* e *Pesquisa FAPESP*. O material analisado apresentava questões relacionadas ao acelerador de partículas *Large Hadron Collider* (LHC). Os autores identificaram elementos da noção de repetição proposta por Orlandi, o que, segundo eles, evidencia a multiplicidade de maneiras com que os licenciados efetuaram a leitura e também destacam elementos do jornalismo científico presentes nos textos utilizados; Brugliato e Almeida (2017b) buscaram compreender como a leitura de um texto de divulgação científica sobre o modelo atômico de Rutherford, por estudantes do Ensino Médio, poderia contribuir para a produção de sentidos sobre elementos da bomba atômica. As autoras concluíram que o texto, associado a outras atividades, permitiu que os estudantes se envolvessem conseguindo relacionar o modelo atômico apresentado no texto com o tema proposto; Silva e Zanotello (2017) analisaram os sentidos construídos por estudantes do Ensino Médio a partir da leitura de textos de divulgação científica sobre física contemporânea e os resultados evidenciaram o desenvolvimento do posicionamento crítico dos alunos sobre aspectos da prática científica e também a compreensão de conceitos físicos abordados.

Nos eventos, partimos nossa revisão do ENPEC, segundo as mesmas palavras da revisão dos periódicos.

A física moderna e contemporânea foi abordada em trabalhos mais recentes, como o de Silva e Almeida (2013) que analisaram as respostas de estudantes do Ensino Médio após a leitura de um texto de divulgação científica sobre o tema ressonância magnética e obtiveram indícios de que esse tipo de atividade pode favorecer a discussão em sala de aula, embora alguns alunos tenham apresentado dificuldades com relação a leitura e recusa em participar da proposta, o que levou os autores a destacarem a importância do professor como mediador e a necessidade de se trabalhar questões de leitura em diferentes disciplinas na educação básica.

Já a energia nuclear, objeto de nosso estudo aparece em trabalhos pelo menos desde 2013, com Pagliarini, Almeida e Fontes (2013) que analisaram a interpretação de estudantes do Ensino de Jovens e Adultos (EJA) ao lerem sites relacionados à energia nuclear e como eles se relacionaram com esse material, concluindo que a proposta desenvolvida forneceu aos estudantes subsídios para a atribuição de sentidos articulados a questões críticas; Brugliato e Almeida (2015) buscam evidenciar a importância que a leitura de diferentes tipos de discursos pode ter no aprendizado da física e a diversidade de sentidos que essa proposta pode proporcionar. Para isso, utilizam textos de divulgação científica e do livro didático, evidenciando que a leitura desses tipos textuais pode não acontecer da mesma maneira, o que permite a produção de sentidos pelos estudantes em diferentes momentos da aula, sendo um recurso capaz de envolver os alunos na aprendizagem do conteúdo; Brugliato e Almeida (2017a) utilizam diferentes tipos de discursos, dentre os quais destacamos a divulgação científica e o livro didático, sobre o tema bomba atômica. As autoras tinham o objetivo de mostrar a licenciandos em física que o sentido produzido em atividades de leitura não é único e, com isso, motivá-los a (re)pensar sua prática docente, oferecendo espaço para a leitura de tipos de discursos em aulas de física na educação básica. Elas perceberam que o livro didático causou o repúdio dos alunos, provavelmente pela forma como ele é tradicionalmente apresentado. Também observaram que muitos alunos citaram a preocupação em cumprir o currículo como principal fator que impediria o uso de diferentes tipos de discursos em aula de física, ressaltando que essa proposta ainda é vista como uma atividade “extra” e não como estratégia de ensino.

No Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), nos limitamos a olhar os encontros a partir de 2002. Tal limitação se fez necessária devido a forma como os trabalhos estão disponibilizados nos meios eletrônicos.

Silva e Almeida (2010) apresentaram um texto elaborado a partir de textos de divulgação científica para ingressantes universitários sobre temas de física moderna e contemporânea (FMC). Segundo os autores, os alunos afirmavam que haviam tido contato e gostado de estudar FMC anteriormente e, apesar de terem se posicionado a favor do uso de textos de divulgação científica como possível metodologia, a maioria dos participantes relatou ter tido dificuldade em compreender o material apresentado e buscou responder o questionário pautando-se no processo de repetição formal, proposto por Orlandi; Marchi e Leite (2011) analisaram dois capítulos do livro de divulgação científica “O universo numa casca de nós”, do autor Stephen Hawking. As autoras tinham o intuito de utilizar o texto em aulas de física do Ensino Médio como possível recurso para auxiliar no processo de ensino-aprendizagem e notaram que ele apresenta características próprias da divulgação científica, como a preocupação em se auto explicar, através de comparações, metáforas ou outros recursos. Elas também concluíram que, apesar de se tratar de uma divulgação científica, a densidade do seu conteúdo poderia dificultar a compreensão em aulas relacionadas às linguagens. Para as autoras:

Trata-se, portanto, de uma obra bastante rica que pode levar os alunos a questionamentos sobre o fazer científico, os sujeitos que participam desta construção do conhecimento, questões que, como aponta Leibrunder (2003), podem ser instigantes para os alunos, acostumados ao contato com textos institucionalizados, apenas reproduzindo-os sem jamais questioná-los. (MARCHI, LEITE, 2011, p.3)

Ainda sobre temas relacionados com física moderna, temos Pereira, Londero e Almeida (2012) que buscam entender como os alunos do Ensino Médio interpretam a física de partículas a partir da leitura de textos de divulgação científica e qual a contribuição desse material para o entendimento dos conceitos. Os autores notaram algumas dificuldades em se trabalhar com esse recurso, embora ele se apresente como um possível caminho para o ensino do tema; Silva, Almeida e Hallack (2012) buscaram compreender a produção de sentidos de ingressantes na universidade sobre o paradoxo EPR, a partir da leitura de um texto de divulgação científica. Os autores notaram que, apesar dos alunos terem relatado dificuldades na leitura, a proposta é válida, desde que conte com uma atividade de mediação sendo, assim, recomendada para ser realizada no Ensino Médio, podendo trazer benefícios de aprendizagem para os estudantes.

Por fim, apresentamos os trabalhos encontrados no SNEF a partir da sua 15ª edição, realizada em 2003. Assim como os trabalhos apresentados no EPEF, a limitação também ocorreu devido à forma de disponibilização em meios eletrônicos.

Silva e Terrazzan (2007) trabalhando com física moderna e contemporânea buscaram avaliar como a leitura de textos de divulgação científica pode permitir que os alunos estabeleçam relações entre o cotidiano e os conceitos físicos, além de contribuir para a formação de leitores. Os autores concluíram que o uso de textos é uma proposta adequada para se trabalhar o tema escolhido, embora tenham encontrado dificuldades ao longo da realização da atividade, as quais acreditam que possam ser minimizadas conforme esse tipo de atividade passe a fazer parte da rotina escolar, uma vez que, em turmas nas quais mais de uma atividade com textos foram desenvolvidas, se observou um maior questionamento, discussão e participação por parte dos alunos; Marchi e Leite (2013) analisaram um texto de divulgação científica sobre buracos negros. Em sua análise, as autoras buscam considerar os objetivos e finalidades que a atividade com esse recurso pode proporcionar. Observaram que:

Muito embora o texto selecionado seja, segundo seus autores, escrito para o público em geral, ou seja, composto por aqueles que não possuem o aparato matemático necessário à compreensão do conhecimento científico, esse apresenta uma densidade e complexidade de conteúdos, podendo ser utilizado como “porta de entrada” para o conhecimento científico, estimulando a busca por outras fontes de informação e aprofundamento do conhecimento sobre o tema, elementos importantes na construção do sujeito leitor, o qual não deve limitar-se a um único texto, mas que, estimulado no ambiente escolar, deve ser levado a múltiplas leituras, promovendo a ampliação de seu conhecimento e instigando a aprender a aprender. (MARCHI, LEITE, 2013. p.1)

Ou seja, as autoras perceberam que, embora os textos sejam considerados para o público em geral, eles necessitam de um conhecimento científico, estimulando o leitor a buscar outras fontes para conseguir compreender o material. Isso destaca a importância da escolha do material para se trabalhar em sala de aula, uma vez que, dependendo do grau de dificuldade, a atividade pode desmotivar os alunos; Oliveira, Ferreira e Almeida (2013) montaram um texto a partir de trechos de um livro de divulgação científica sobre o assunto nanotecnologia com o objetivo de analisar as representações dos estudantes sobre o material. Os autores notaram que o texto permitiu que os alunos produzissem sentidos sobre nanotecnologia, embora eles não tenham

produzido o mesmo sentido, destacando que o sentido não é único. A atividade permitiu ainda que os alunos se posicionassem mais sobre o assunto, uma vez que quando se trabalha apenas com a linguagem matemática há uma dificuldade em interpretar os resultados. Os textos de divulgação científica permitiram aos alunos expressarem-se em uma linguagem mais próxima do seu cotidiano; Pereira e Londero (2013) elaboraram uma sequência que utilizava um trecho extraído do livro *Alice no país do Quantum* para estudar as partículas elementares. Os autores observaram que a maioria dos estudantes não conheciam esse material e o conhecimento que tinham sobre o assunto havia sido obtido por meios não formais de ensino. Apesar disso, ao efetuarem a leitura, os estudantes se posicionaram favoravelmente ao uso do texto em aulas de física. Com relação à aprendizagem, os alunos conseguiram relacionar elementos do texto com o movimento das partículas, apresentando indícios de que a leitura pode ser um recurso interessante para o ensino do tema; utilizando três capítulos do mesmo livro, Lima e Ricardo (2015) verificaram como recursos como metáforas, analogias e a própria leitura do livro podem contribuir para o surgimento de pseudoconceitos pelos alunos, sendo importante a mediação para que se “tornem” em conceitos científicos e sejam internalizados; Silva e Zanotello (2015) propõem um debate sobre os neutrinos a partir da leitura de textos de divulgação científica. Os autores tinham como objetivo identificar gestos de interpretação dos estudantes, e notaram que houve uma apropriação do gênero discursivo pelos alunos, permitindo a externalização dos sentidos produzidos por eles na leitura, além disso, concluíram que:

A diversificação de estratégias para se trabalhar a leitura dos TDC em aulas de Física no ensino médio pode favorecer a constituição de sentidos por parte dos estudantes, pertinentes tanto aos conteúdos científicos quanto a aspectos que envolvem a natureza da ciência e suas relações com a sociedade. Os roteiros de leitura e as atividades que constituíram a sequência estimularam a participação dos estudantes, ajudaram a sistematizar a leitura dos TDC e podem subsidiar o trabalho do professor que desejar fazer uso de textos alternativos ao livro didático em suas aulas. (SILVA, ZANOTELLO, 2015, p.8)

Os autores destacam então que existem diferentes formas de se utilizar o recurso da leitura em aulas de física e que cada forma pode favorecer a produção de sentidos diferentes. Acreditamos que isso seja uma proposta interessante em ambiente

escolar, já que essa possibilidade de diversos sentidos serem produzidos pode favorecer o envolvimento de diferentes alunos na disciplina.

Notamos que, neste evento também não temos trabalhos relacionados com o tema energia nuclear e, os estudos com temas relacionados à física moderna e contemporânea são recentes, começando a aparecer por volta de 2010.

Observamos com essa revisão que não temos trabalhos que busquem abordar a leitura do livro didático sobre Física Moderna e Contemporânea e/ou Energia Nuclear. Alguns trabalhos analisam esses conteúdos no livro, mas não propõem seu uso em sala de aula. Quando se pensa em leitura, os trabalhos procuram relacionar a divulgação científica com os conceitos, provavelmente por se tratar de uma linguagem, possivelmente, mais próxima da realidade dos alunos e por sair do material que frequentemente se encontra em ambiente escolar. Acredita-se que esse recurso, a divulgação científica, pode motivar mais os alunos do que a leitura do livro didático.

Diante disso, este trabalho se faz importante na tentativa de colaborar com o desenvolvimento de estudos na área de Ensino de Física.

## **2. Caracterizações e Apoio teórico-metodológico**

Este trabalho tem como conteúdo físico central, noções de energia nuclear que podem ser trabalhadas com alunos do Ensino Médio (EM). Como destacamos anteriormente, nosso estudo também busca compreender melhor semelhanças e diferenças entre o livro didático e a divulgação científica, mas também entre textos considerados de um mesmo tipo de discurso.

Nos propomos a apresentar algumas noções de energia nuclear que consideramos importantes para o entendimento da opção por esse estudo e também considerações sobre seu ensino na educação básica.

Apresentamos noções que embasam a produção e distribuição do livro didático na rede pública de ensino no Brasil. Não nos abstermos, entretanto, de um viés político-social em nossa apresentação. Acreditamos que tal suporte possa nos permitir valorizar e reconhecer mais esse recurso didático, considerado muitas vezes, como parte fundamental no ensino escolar.

A divulgação científica também tem espaço neste capítulo. Sobre ela, buscamos apresentar algumas noções que a caracterizem, embora tenhamos conhecimento de que esse tipo de discurso, como diversos pesquisadores apontam, entre eles, Salém e Kawamura (1996) e Silva (1998), pode ser encontrado de variadas formas sendo difícil caracterizá-lo profundamente.

### **2.1. Noções de Energia Nuclear**

A energia nuclear tem origem no estudo do átomo, seu processo parte, fundamentalmente, da quebra atômica e da liberação de energia. A concepção do átomo sofreu uma série de mudanças desde a Grécia antiga, como podemos acompanhar em diversas referências como Brown, Lemay Jr. e Bursten (2005) ou Eisberg e Resnick (1988). Inicialmente, se acreditava que haveria um limite para a divisão da matéria, sendo o átomo essa menor parte. Essa concepção justifica seu nome, a-tomo deriva do radical grego “tom” que significa cortar, acompanhado do prefixo “a” que é a noção de negação, assim, temos algo que não poderia ser cortado. Após diversos modelos serem propostos sobre o tema, hoje, sabe-se que o átomo pode ser dividido, quebrando-se em elementos

de menor número atômico e liberando energia nesse processo, que é a energia que nos propomos a estudar neste trabalho, a nuclear.

Para compreendermos como ocorre o processo de produção da energia nuclear, é importante entendermos o conceito de fissão nuclear e de reação em cadeia. O processo de fissão nuclear consiste na desintegração do núcleo atômico, o que não é um processo simples. Nele, o núcleo atômico deve ser atingido por um projétil de menor tamanho, capaz de chegar em seu interior, porém com uma alta energia, comparável à energia de ligação de diferentes partículas no interior do núcleo atômico.

Hoje sabe-se que, quando o núcleo atômico é atingido ele pode se comportar de diferentes modos. Pode simplesmente reter o nêutron (projétil menor utilizado para bombardear o núcleo) que o atingiu, ou então, pode gerar uma sobrecarga. Neste último caso, o núcleo tenta reestabelecer seu equilíbrio emitindo cargas e radiações, ou seja, ele pode se tornar um isótopo radioativo do elemento bombardeado, ou ainda, por conta do acréscimo de massa e de energia, o núcleo pode explodir, dividindo-se em duas ou mais partes.

Quando o núcleo se fragmenta, além de originar novos átomos, ele libera uma grande quantidade de energia e nêutrons que permanecem livres. Esses nêutrons que “sobram” após a divisão do núcleo podem atingir outros átomos e os fissionarem, assim temos uma reação capaz de se auto alimentar, gerando o que chamamos de reação em cadeia.

Alguns elementos têm características que permitem, ou facilitam, esse processo de fissão nuclear, dentre eles, podemos citar o urânio. Apesar do urânio ser um bom elemento para se fissionar, não é qualquer urânio que é adequado para esse processo. O urânio mais encontrado na natureza é o  $U^{238}$ , que possui 146 nêutrons e é considerado o mais estável, por conta disso ele é dificilmente físsil. Os átomos de urânio capazes de sofrer o processo de fissão com mais facilidade são o  $U^{235}$  e o  $U^{234}$ , respectivamente com 143 e 142 nêutrons, entretanto esses isótopos são difíceis de se encontrar na natureza.

Outro processo capaz de originar grande quantidade de energia é a fusão nuclear. Enquanto no processo de fissão, a energia se origina na quebra atômica, na fusão, ainda pouco utilizada, a energia se origina do agrupamento atômico. Na fusão nuclear, dois ou mais núcleos atômicos se juntam para formar um átomo maior. Esse processo

requer uma grande quantidade de energia para acontecer e, apesar disso, ainda é capaz de dissipar outra grande quantidade de energia. A explicação para isso é que, quando dois núcleos se juntam, a massa do terceiro é menor que a soma das massas individualmente e, a partir da equação  $E=mc^2$  temos essa massa extra convertida em energia. Na Terra, não temos indícios de processos de fusão espontâneos e seu uso ainda é limitado uma vez que o controle da reação ainda não foi totalmente dominado.

Com o desenvolvimento científico, a energia originária da quebra atômica teve muitas aplicações. Foi utilizada no desenvolvimento de artefatos armamentistas, resultando, em 1945, no lançamento da primeira bomba atômica. Posteriormente seu uso, através do desenvolvimento de reatores nucleares passou a ser para a produção de energia elétrica. Pensar energia nuclear nos leva ainda a considerar a presença da radiação na sociedade atual, uma vez que ela trabalha com elementos que, dependendo da forma como são manipulados, podem ser altamente perigosos à saúde humana.

Pensando na radiação, temos que ela se encontra presente em nossa vida cotidiana, mas dentro de um limite considerado saudável. Problemas mais graves podem acontecer quando não se tem conhecimento dos riscos da radiação ao ser humano e se entra em contato com elementos radioativos. Tal situação foi vivenciada em Goiânia, em 1987, onde uma cápsula de Césio-137 foi aberta, liberando a radiação desse elemento químico para o ambiente e expondo muitas pessoas a ele. A cápsula pertencia a um aparelho médico utilizado para realizar radioterapia que teve seu descarte indevido chegando à população que, não sabendo do que se tratava, mas sendo atraída pela sua luminescência entrou em contato com o material.

Assim, cabe destacar que, mesmo em situações nas quais a energia nuclear é utilizada visando um objetivo pacífico, a instabilidade dos processos necessários para a sua produção e o descarte do lixo produzido podem trazer sérios riscos à população.

Em nosso estudo, levamos aos alunos do Ensino Superior textos que abordaram a energia nuclear como um todo e também outros que tratavam de aplicações específicas, como em reatores nucleares, produção da bomba atômica na 2ª Guerra Mundial e que versavam sobre os perigos da radiação para a sociedade, como no caso já citado, do Césio de Goiânia.

Acreditamos que o ensino de noções de energia nuclear na educação básica deva ser considerado por se tratar de um tema controverso socialmente e sobre o qual se fala na mídia, principalmente após algum acidente envolvendo a liberação de radiação no ambiente, trazendo, muitas vezes, apenas uma visão negativa relacionada com seu uso. Assim, concordamos com Silva, Pessanha e Bouhid (2011):

As implicações desse tema na ciência, na tecnologia e na sociedade geram controvérsias que envolvem diversas dimensões: científica, tecnológica, social, ambiental, econômica e política. [...]Embora seja uma problemática restrita aos especialistas e aos tomadores de decisão (cenário científico e político), a presente discussão é importante entre os não-especialistas, para que estes possam se posicionar e avaliar os riscos e benefícios que o uso de tal tecnologia pode gerar para toda a sociedade da qual fazem parte. (p.5)

Pensando ainda na importância de se apresentar esse tema para os alunos e proporcionar a oportunidade de discutir sua importância, eficácia e necessidade nos dias atuais trazemos Xavier *et al* (2007):

Os marcos da história da radioatividade [...], sem dúvida alguma, colocam a radiação e a energia nuclear como uma ferramenta extremamente útil. Por outro lado, o mau uso dessa ferramenta na construção de bombas atômicas, que ameaçam a população mundial até hoje, é um exemplo da falta de maturidade e respeito ao ser humano e ao meio-ambiente por parte de certos órgãos. As consequências dos desastres foram muito graves, considerando-se as mortes e os danos físicos e psicológicos a toda uma população, entre outros problemas, como impactos ambientais que alteram o equilíbrio de toda uma ecologia. Assim, era de se imaginar que a radiação e a energia nuclear fossem banidas do nosso meio. Felizmente, existem grupos que usufruem os benefícios que essa forma de energia oferece e, como pode ser observado, a energia nuclear continuou sendo utilizada após os acidentes e incidentes. O avanço em pesquisas que a envolvem em diversas áreas, como medicina, química, arqueologia, alimentação, industrial, etc. também foi ampliado. (XAVIER *et al*, 2007, p.90).

Acreditamos então que o ensino de noções de energia nuclear, perpassando a radiação, na educação básica pode colaborar para o desenvolvimento de cidadãos críticos e conscientes dos processos, riscos e benefícios que a energia nuclear, que como observamos em Xavier *et al* (2007) está cada vez mais presente no mundo, pode ter em nossas vidas, sendo capazes de opinar conscientemente e se posicionar sobre o tema perante situações do cotidiano.

Buscamos então apresentar noções que perpassem os elementos trabalhados com os alunos no desenvolvimento deste trabalho.

## 2.2. Temas abordados

Partimos da bomba atômica. Tal artefato foi desenvolvido entre 1940 e 1945, e utilizado durante a Segunda Guerra Mundial contra o Japão. Para seu desenvolvimento, os Estados Unidos da América (EUA) montaram uma cidade, chamada Trinity, totalmente fiscalizada pelo exército, para a qual enviaram centenas de cientistas e engenheiros renomados que deveriam trabalhar no desenvolvimento de uma bomba utilizando noções de fissão nuclear, que estaria sendo estudada pela Alemanha (KRAGH, 2002). Dessa forma, o objetivo da reclusão desses pesquisadores era conseguir desenvolver o artefato antes da Alemanha. Esse projeto para o desenvolvimento da bomba recebeu o nome de “Projeto Manhattan”.

O projeto teve um impulso financeiro após o Japão realizar um ataque ao Pearl Harbor, uma base naval americana. Nesse momento da guerra os EUA se viram altamente ameaçados e passaram a investir mais em um artefato até então desconhecido, mas que acreditavam que, se fosse de fato produzido, revolucionaria a indústria armamentista.

O processo não foi simples, muitas dificuldades foram encontradas, como a de se obter o material necessário para o estudo e posterior construção da bomba. Compton e Fermi, cientistas que comandavam o grupo de física experimental do projeto, após estudos concluíram que os elementos químicos mais indicados para a construção da bomba seriam o Urânio-235 ou o Plutônio. Diante disso, passaram a coordenar simultaneamente duas frentes de estudo, uma relacionada a cada elemento.

Em 1945, a sociedade conheceu o resultado do Projeto Manhattan. Duas bombas foram lançadas sobre o Japão.

A primeira, chamada “Little boy” foi atirada em Hiroshima, no dia 6 de agosto e foi produzida através do processo de fissão nuclear do Urânio. Segundo Xavier *et al* (2007), a bomba “[...] tinha uma potência equivalente a 12,5 mil t de TNT, provido de uma bala de 2,26 kg de  $^{235}\text{U}$ , disparada em um alvo de 7,71 kg de  $^{235}\text{U}$ . Quando as duas peças se encontram, ocorre uma reação em cadeia. ” (p.85). Estima-se que, nesse dia, cerca de 90 mil pessoas morreram.

A segunda bomba desenvolvida, chamada “Fat man”, tinha como elemento químico o plutônio, e foi lançada sobre Nagasaki, no dia 9 de agosto. Ainda segundo Xavier *et al* (2007), essa bomba era composta por “[...]dois hemisférios de plutônio unidos por explosivos convencionais, tinha 3,25 m de comprimento e 1,52 m de diâmetro, pesava 4,5 t e tinha uma potência equivalente a 22 mil t de TNT. ” (p.85). Os efeitos imediatos do lançamento da bomba sobre Nagasaki foram menos expressivos do que o de Hiroshima, mas ainda assim, impactantes. Estima-se que, no momento da explosão, 40 mil pessoas tenham morrido.

Ainda hoje discute-se a necessidade de ter utilizado as bombas para encerrar a Segunda Guerra Mundial, uma vez que seu uso culminou na morte de aproximadamente 220 mil pessoas, entre o lançamento e o final de 1945. Além disso, a radiação liberada teve um grande impacto na vida daqueles que não morreram nesse período, prejudicou o meio ambiente, elevou a quantidade de nascimentos de bebês com má formação genética e deixou marcas irreversíveis em toda uma sociedade, visto que a maioria dos atingidos eram civis.

Conhecer esse momento histórico, atrelado ao desenvolvimento científico da época é fundamental para que os estudantes adquiram elementos para se posicionarem diante da sociedade, por isso acreditamos ser importante discuti-los em sala de aula.

Outro uso atribuído para a energia nuclear foi a criação de reatores nucleares. O primeiro foi desenvolvido antes mesmo das bombas atômicas, e foi elaborado empilhando-se blocos de grafite intercalados com barras de urânio, em 1942. As barras de grafite agiriam como moderadores, impedindo que a reação em cadeia do urânio saísse do controle, como era desejado na criação da bomba atômica, isso possibilitou gerar energia de maneira controlada.

A usina nuclear, atualmente, funciona a partir da geração de vapor d’água, em alta pressão, que é capaz de movimentar uma turbina, a qual tem um gerador elétrico acoplado. Esse sistema é muito próximo ao utilizado nas usinas termoelétricas, o que muda é a matéria prima utilizada, no primeiro caso, átomos de urânio, assim, a usina nuclear também é conhecida como usina termonuclear.

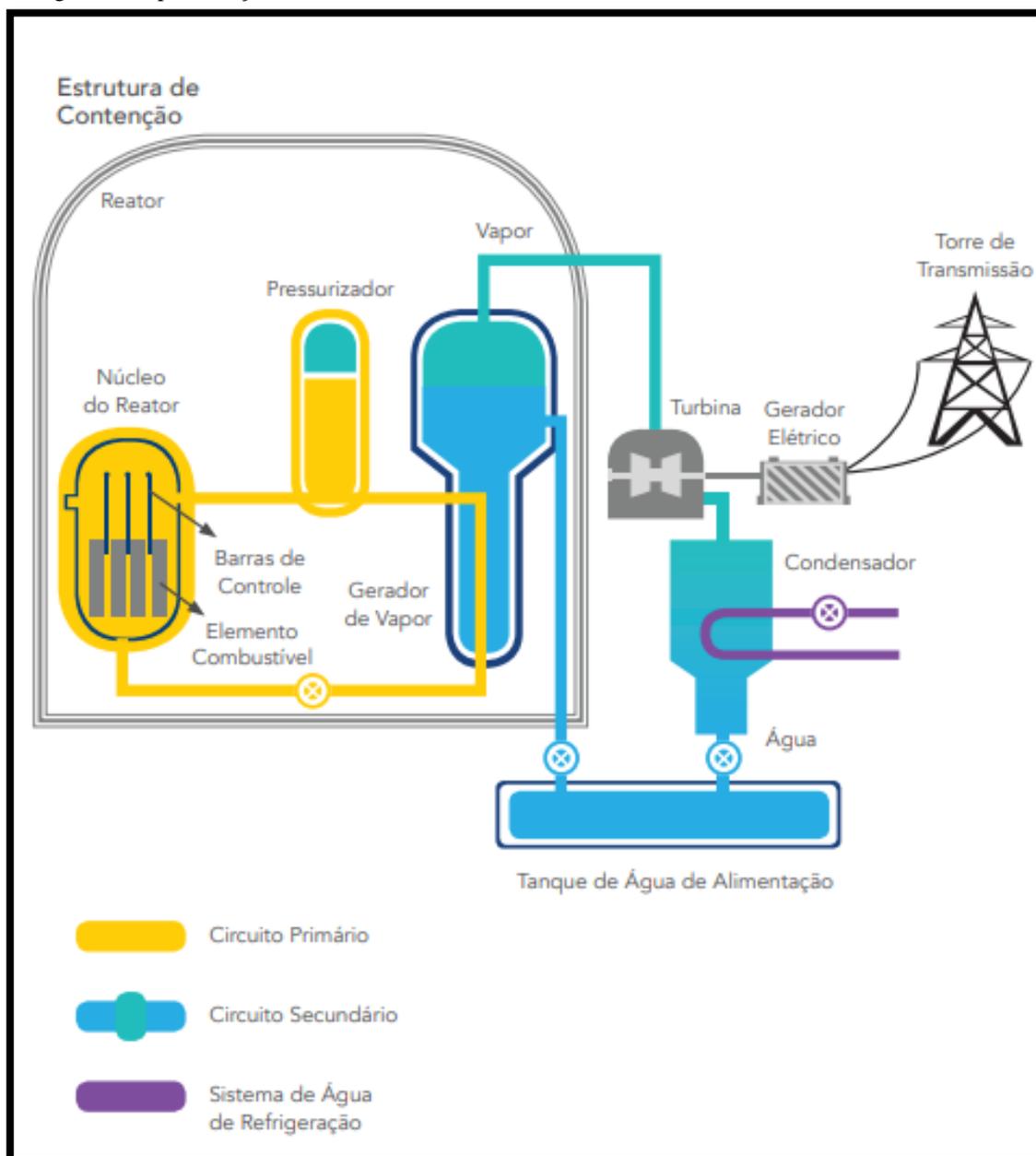
As usinas termonucleares são dotadas de uma estrutura chamada vaso de pressão, que contém a água de refrigeração do núcleo do reator (onde fica o

combustível nuclear). Essa água, altamente radioativa, circula quente por um gerador de vapor, em circuito fechado, chamado de circuito primário. Esse circuito primário aquece uma outra corrente de água que passa pelo gerador (circuito secundário) e se transforma em vapor, acionando a turbina para a geração de energia elétrica. Os dois circuitos não têm comunicação entre si. (BRASIL, 2008, p.118)

Avançando na explicação proposta pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) temos que, segundo a World Nuclear Association, o núcleo de um reator é composto por óxido de urânio e urânio cerâmico, chegando a conter 75 toneladas de urânio. O núcleo do reator fica dentro de um recipiente de pressão de aço, envolto em água. No interior desse núcleo ocorre uma reação em cadeia do processo de fissão nuclear, já descrito. Durante esse processo há uma grande geração de calor. Esse calor é capaz de aquecer a água que o cerca e, devido à pressão, essa água é capaz de permanecer em estado líquido mesmo atingindo temperaturas extremas, da ordem de 320°C. Essa água, em alta temperatura, circula por um gerador de vapor e é esse vapor que movimenta uma turbina gerando a energia elétrica. Após esse processo o vapor gerado é condensado, voltando ao estado líquido e sendo reaproveitado. A água, extremamente quente, passa por um pressurizador para que, ao ter sua temperatura novamente elevada não vaporize.

Com relação ao combustível utilizado para a produção de energia, sabe-se que, a cada um ou dois anos, aproximadamente metade do combustível utilizado no processo de fissão é retirado e substituído por um novo, tal etapa é necessária para que o reator mantenha a sua eficiência; outra questão importante é como não perder o controle da reação em cadeia dentro do reator, para isso existem moderadores, que podem ser a própria água ou placas de grafite. Como proposto em 1942, a função do moderador é impedir que todos os nêutrons gerados no processo de fissão atinjam novos átomos, possibilitando assim o controle da quantidade de átomos fissionados. A seguir, apresentamos um esquema do funcionamento de uma usina nuclear:

Figura 1: Representação do funcionamento de uma usina nuclear



Fonte: Cadernos FGV Energia, 2006, p. 29<sup>2</sup>

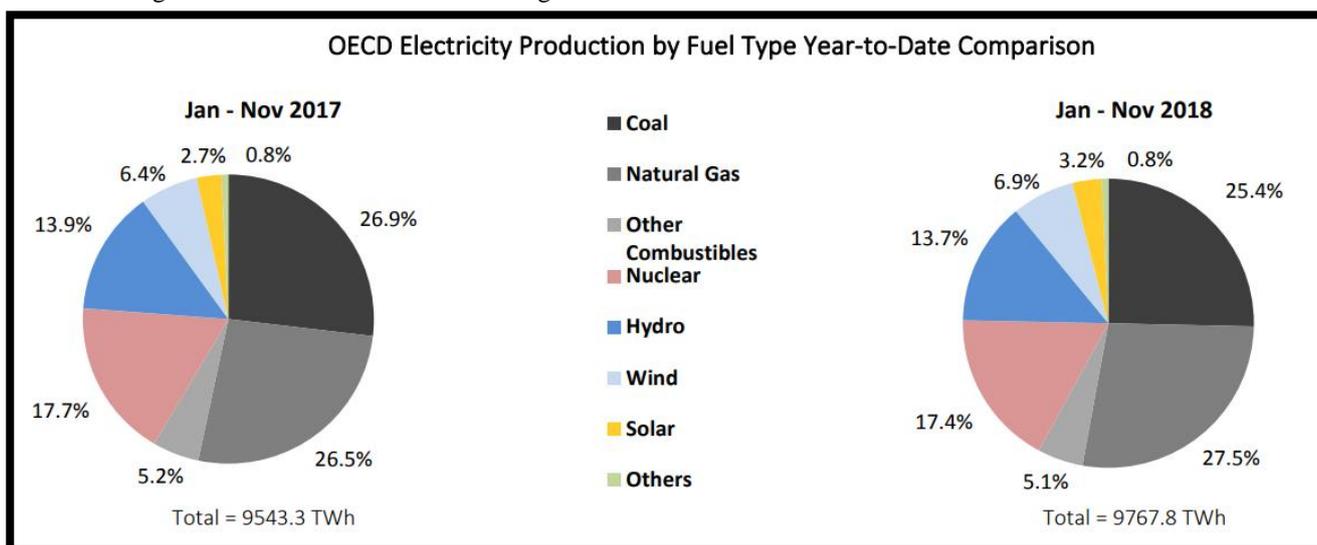
A importância de se trabalhar assuntos relacionados à produção de energia através de fontes nucleares permeia o cotidiano dos estudantes, por envolver riscos à sociedade, mas também, por ser uma alternativa eficiente na produção de energia elétrica, cada vez mais utilizada em nossas vidas. Atualmente, uma usina nuclear, capaz de gerar 1000 megawatts, segundo Veiga (2011) pode ser instalada em uma área de 1km<sup>2</sup>. Para a

<sup>2</sup> Disponível em: [https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/pdf\\_fgv-energia\\_web.pdf](https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/pdf_fgv-energia_web.pdf). Acesso em 05 dez 19;

mesma geração de energia, a partir da fonte solar, seria necessária uma área 150 vezes maior e, a partir da fonte eólica, 600 vezes maior.

A participação das usinas term nucleares na matriz energética mundial é expressiva, como podemos ver nos gráficos disponibilizados pela International Energy Agency (2019, p.i): Representando 17,7% da matriz mundial em 2017 e 17,4% em 2018

Figura 2: Gráficos sobre a matriz energética mundial



Fonte: International Energy Agency

Cabe destacar que, segundo a ANEEL (2008, p.120), em 2006 a participação da fonte nuclear, a nível mundial, era de 14,8%, o que indica uma expansão até os últimos anos e seu uso vem se tornando mais presente no âmbito mundial. Uma das justificativas, para a produção de energia a partir da fonte nuclear avançar lentamente e ainda ser relativamente pequena, se deve aos acidentes que já ocorreram com elementos radioativos, dentre os quais podemos citar o incidente de Three Mille Island e o de Chernobyl. No primeiro, uma usina americana, em março de 1979, devido a um erro operacional com relação ao processo de resfriamento, sofreu uma liberação de material radioativo após barras de elementos químicos se fundirem (XAVIER *et al*, 2007). O segundo, Chernobyl, em abril de 1986, na Ucrânia, é considerado o mais grave acidente nuclear da história (XAVIER *et al*, 2007, p.85), e consistiu na perda de controle da reação em cadeia e consequente explosão de um dos reatores. Além disso, muitos outros acidentes aconteceram, tendo seu reconhecimento imediato, tardiamente ou ainda, sendo considerados como segredo político ou militar.

No Brasil, os estudos envolvendo a ciência nuclear começaram por volta de 1934, e o programa nuclear teve início em 1969, tendo a primeira usina nuclear sido construída em 1970, a Angra I. Apesar disso, o mais conhecido acidente envolvendo radiação no país aconteceu em 1987, na cidade de Goiânia.

No evento, segundo Candotti *et al* (1988), dois sucateiros retiraram dos escombros de onde anteriormente funcionava o Instituto Goiano de Radioterapia (IGR), uma cápsula com uma luminescência que chamava a atenção. O pó brilhante, e desconhecido, atraiu a atenção da população o que fez com que dezenas de pessoas entrassem em contato com ele, inclusive ingerindo-o. Se tratava do elemento químico Césio-137. Segundo Xavier *et al* (2007) os efeitos da radiação no organismo começaram a ser sentidos algumas horas após as pessoas entrarem em contato com o Césio. Os principais efeitos da radiação no corpo eram náuseas, vômitos, tontura e diarreia. Acredita-se que pelo menos 200 pessoas sofreram algum efeito da radiação. Além disso, foram contabilizadas quatro mortes e a amputação de um braço.

A falta de informações disponibilizadas para a sociedade foi um dos principais responsáveis pelo espalhamento do caos em Goiânia. Cruz (1987) enfatiza que “Pelas ruas, as pessoas perguntam se radiação é um vírus, se ela reproduz, ou se é contagiosa, o que é contaminação, o que é lixo atômico etc.” (CRUZ, 1987, p.164). Ou seja, a população não tinha noção do que se tratava a tal radiação que estava sendo comentada. Ainda sobre a radiação, o mesmo autor apresenta que:

Todos os tipos de radiações nucleares apresentam um certo número de propriedades comuns: são invisíveis, se deslocam com velocidades elevadas e podem penetrar na matéria em profundidades variáveis. Sua ação sobre a matéria se traduz notadamente pela modificação das propriedades químicas dos átomos e moléculas. Essas mudanças podem ter efeitos diversos desde a destruição dos tecidos a modificações celulares, causando queimaduras, engendrando um crescimento desordenado das células (isto é, causando câncer em órgãos ou ossos). Pode ainda modificar a composição sanguínea, alterando o número de glóbulos brancos e vermelhos e destruir o sistema imunológico (defesa do organismo). (CRUZ, 1987, p.166)

Cotidianamente estamos em contato com a radiação, entretanto a radiação natural é de baixa intensidade e praticamente não causa efeitos maléficos em nosso organismo. Entretanto, cabe ressaltar que nosso corpo não é capaz de eliminar a radiação

espontaneamente, sendo acumulativa, por isso, se recomenda evitar a exposição. No acidente com o Césio, as pessoas que entraram em contato com o elemento químico receberam milhares de vezes a dose natural que recebemos anualmente, o que desencadeou os problemas de contaminação.

Hoje, a quantidade de informação disponibilizada é muito grande, mas ainda não chega à sociedade de maneira eficaz, acreditamos que discutir essas questões com alunos do Ensino Médio e Superior pode colaborar para que as pessoas conheçam os riscos que os elementos químicos e a radiação podem representar para a sociedade. Da mesma forma que saibam dos seus benefícios, sendo capazes que discutir sobre o assunto.

### **2.3. Os livros didáticos no Ensino Médio**

O livro didático tem sido objeto de estudo em muitos trabalhos da área de Ensino de Ciências. Dentre eles, podemos destacar Langhi e Nardi (2007) que chamam a atenção para erros conceituais no ensino de astronomia presente nos livros didáticos; Silva e Martins (2010), que buscam classificar e discutir a utilização de analogias e metáforas presentes nos livros didáticos de física; Cordeiro e Peduzzi (2013) que trabalham o livro didático na disciplina de física moderna com alunos do Ensino Superior; Lima, Ostermann e Cavalcanti (2017), que analisam os enunciados sobre física quântica nos livros aprovados no PNLD/2015; Zambon e Terrazzan (2017) que investigam a (sub)utilização dos livros didáticos de física no Ensino Médio; entre muitos outros trabalhos.

Esse recurso pedagógico é controverso. Existem correntes a favor de seu uso, por se tratar de um material estruturado e elaborado propriamente para a sala de aula, para os alunos e para os próprios professores, e outra contra o seu uso por diversos motivos, desde o fato de alguns deles apresentarem erros conceituais, até o alto valor investido anualmente visando sua distribuição nas escolas. Em 2017, foi de aproximadamente R\$1,3 bilhões (BRASIL, 2017). Tal valor, apesar de alto representa aproximadamente 1,2% do orçamento que foi destinado à educação nesse ano, mas ainda assim, se trata de um alto investimento em um recurso que como veremos mais à frente, algumas vezes é subutilizado ou desprezado. No Brasil, a previsão para se investir na educação foi de R\$ 107.500.000.000,00 e, segundo o censo divulgado pelo Instituto Nacional de Estudos e

Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP, 2018), se encontram matriculados na educação básica aproximadamente 42 milhões de alunos.

Pensando na política do livro didático no Brasil, achamos coerente trazer elementos para uma reflexão. Para isso, partimos do conceito de políticas públicas proposto por Souza (2003). Segundo este autor, a política pública é:

O campo do conhecimento que busca, ao mesmo tempo, “colocar o governo em ação” e/ou analisar essa ação (variável independente) e, quando necessário, propor mudanças no rumo ou curso dessas ações e/ou entender por que e como as ações tomaram certo rumo em lugar de outro (variável dependente). (SOUZA, 2003, p.13)

A autora busca evidenciar que uma política pública é uma ação do governo que visa atingir determinado setor da sociedade. Além disso ela deve, ou deveria, ser analisada e adequada conforme os resultados que tenha no cotidiano. Pensando na política educacional, temos, segundo Azevedo (2008):

A escola e principalmente a sala de aula, são espaços em que se concretizam as definições sobre a política e o planejamento que as sociedades estabelecem para si próprias, como projeto ou modelo educativo que se tenta por em ação. O cotidiano escolar, portanto, representa o elo final de uma complexa cadeia que se monta para dar continuidade a uma política – a uma *policy* – entendida aqui como programa de ação. (AZEVEDO, 2008. p.59).

Queremos com isso pensar a política pública e a educacional de maneira simultânea onde para se avaliar o andamento da primeira, é necessário ir até o ambiente em que se dá a segunda. Ou seja, a política pública voltada para a educação deveria ser acompanhada no seu fim, onde ela realmente toma forma, na escola e na sala de aula. E também no âmbito do Ensino Superior, uma vez que é ali que estão sendo formados os futuros professores que utilizarão ou não determinados recursos.

Dito isso, podemos refletir sobre a política do Programa Nacional do Livro Didático (doravante PNLD) e do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (doravante PNLEM) que, segundo o site do Ministério da Educação (MEC), tem por objetivo oferecer para escolas públicas de nível fundamental e médio livros didáticos, obras complementares e dicionários. Então, trata-se de uma política pública criada para

oferecer aos estudantes e professores um material de qualidade. Destacamos que nossa análise crítica feita a partir desse ponto tem como fundamento as vivências em escolas do estado de São Paulo e, em hipótese alguma podem ser generalizadas para outros estados e regiões do Brasil. Destacamos ainda que, embora façamos uma crítica, não partimos de uma premissa contra o programa, mas sim, contra a organização e não fiscalização dele. Por fim, apontamos que se trata de um programa muito antigo e nunca isento de críticas e dificuldades, o que impede que os apontamentos aqui levantados sejam associados, direta ou indiretamente, com algum partido político.

A política do PNLD/PNLEM tem sua raiz datada de 1929, quando o Estado cria o Instituto Nacional do Livro (INL). Em 1938 temos o primeiro decreto (Decreto-Lei nº 1.006, de 30/12/38) que caracteriza uma política pública. Tal decreto traz alguns artigos que, com as devidas adaptações, se encontram presentes na legislação até os dias atuais. Um exemplo é o Artigo 5º que exime o poder público de obrigar as escolas a adotarem determinado material didático, delegando essa função para membros da instituição escolar, outro é o Artigo 20 que determina alguns elementos que excluem o livro didático do processo. Este artigo, traz elementos como “Não poderá ser autorizado o uso do livro didático: [...]f) que inspire o sentimento da superioridade ou inferioridade do homem de uma região do país, com relação ao das demais regiões; g) que incite ódio contra as raças e as nações estrangeiras; [...]i) que procure negar ou destruir o sentimento religioso, ou envolva combate a qualquer confissão religiosa[...]”. A presença desses artigos na legislação atual não deve ser vista como um problema, uma vez que eles são importantes e buscam balizar o processo de forma positiva.

Após esse Decreto-Lei nº 1.006 de 1938, os programas envolvendo livros didáticos e as suas organizações foram tendo uma série de alterações, porém uma atenção especial foi dada em 1962, quando o MEC assinou um acordo com a Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional (Usaid) para auxiliar na educação brasileira. Não queremos afirmar que o acordo firmado entre as nações foi apenas favorável ao Brasil, Arapiraca (1982, p. 110) tece várias críticas ao programa, entre elas a intenção de modernizar o ensino de forma a aceitar tudo o que originava-se nos Estados Unidos em detrimento das situações sociais do país, o que, para o autor recaí em um dos problemas do capital humano. Tal acordo possibilitou a aquisição de 51 milhões de livros didático no período de três anos. O projeto que possibilitou a distribuição do material didático foi bem aceito e o Brasil, mesmo após a extinção do acordo MEC-Usaid, achou

válido levá-lo adiante. Entretanto, o programa sofreu com a falta de recursos, o que fez com que, na época, grande parte das escolas não fossem mais beneficiadas pelo programa. Tal resultado condiz com um elemento que Souza (2003) chama a nossa atenção, para a autora esses países subdesenvolvidos tiveram dificuldade em conseguir equacionar políticas públicas com o desenvolvimento econômico o que excluiu grande parte da população.

O PNLD, com tal nomenclatura, surgiu em 1985 e visava fornecer livros didáticos para o 1º grau. O programa sofreu com a falta de recursos novamente em 1992, sendo retomado em 1995. Nesse período de “crise” foram publicados os “critérios para a avaliação do livro didático”, o que tornou explícito para todos o que os avaliadores esperavam e o que não seria aceito no material submetido pelas editoras para avaliação. Em 1997, a distribuição de livros é retomada e, em 2000 o programa tem uma expansão, passando a oferecer também dicionários para os alunos. Aqui chama-se a atenção para o fato de que, em um período de oito anos, o programa passa de “crise” para “expansão” tendo seu investimento aumentado.

Ainda nessa perspectiva de expansão, em 2003 temos a oficialização do PNLEM, começando com a distribuição de livros de português e matemática para estudantes do norte e nordeste do país e abrangendo todos os alunos e disciplinas em 2015. O PNLD passou a atender todas as disciplinas do Ensino Fundamental em 2009.

A distribuição dos livros didáticos para o Ensino Fundamental e Médio acontece por triênio, sendo que em um ano é entregue o material para o Fundamental I, no outro ano, para o Fundamental II e no terceiro ano para o Ensino Médio, retomando, em seguida, essa sequência. Além disso, os livros que são consumíveis são repostos todos os anos. Entretanto esse é o período de distribuição, o processo de submissão do material pelas editoras e de avaliação começa cerca de dois anos antes dele. Assim, podemos ter ideia da magnitude do programa. Almeida (2015) o apresenta como “Trata-se do segundo maior programa de distribuição de livros didáticos do mundo, atrás somente do programa da China” (2015, p. 22844)

Após essa descrição dos programas e do seu desenvolvimento, podemos entrar em pontos que, se olhados com mais atenção, podem gerar incômodos.

Os programas, PNLD e PNLEM, como já destacado, envolvem gastos muito altos. O site do MEC disponibiliza os valores gastos em 2015, 2016 e 2017, sendo respectivamente R\$1.175.967.978,38, R\$1.070.680.044,28 e R\$1.295.910.769,73. Partindo destes valores e do fato de que, como já dito, trata-se do segundo maior programa de distribuição de livros do mundo, seria de se esperar que o governo, como investidor, cumprisse sua parte e analisasse as ações dele decorrentes. O que queremos dizer com isso? A distribuição de livros didáticos no Brasil acontece anualmente, sendo pago para as editoras cifras que ultrapassam 1 bilhão de reais por ano e, apesar disso, não há um acompanhamento com o que acontece com esse material quando ele chega na escola e como se dá o seu uso. Ou seja, não há um acompanhamento sobre a validade, e necessidade, deste gasto público.

Em 2009, foi publicada a Resolução CD FNDE nº. 60, de 20/11/2009, que estabeleceu novas regras para participação no PNLD. Tal resolução trouxe dois artigos que merecem atenção, o artigo 2º e o artigo 6º. Segundo esses artigos, temos que para as escolas passarem a receber os livros didáticos elas deveriam se cadastrar, uma única vez e, para cancelar este recebimento seria necessário elaborar um ofício e encaminhar ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). Porém, cabe destacar que, ao sair do programa, pode-se chamar uma atenção para a escola que pode ter receio de ser mal avaliada posteriormente ou rejeitada pela população. Em contrapartida, temos o Artigo 6º que conclui que, mesmo que a escola não faça a escolha do material didático que deseja receber, ela receberá o mais escolhido.

Como justificativa para a ênfase incisiva aqui feita sobre a importância de um acompanhamento, tem-se o fato de que durante a graduação a autora deste trabalho presenciou três situações nas quais o material didático não chegou às mãos dos alunos, ficando estocado na escola sem sequer sair da embalagem. Na primeira, os livros ficavam estocados no laboratório de ciências da escola, impossibilitando o uso do mesmo e nunca chegando aos alunos, que não faziam questão por não ser um material utilizado em sala de aula; a segunda, a escola ofereceu aos estagiários os livros, alegando que chegariam novos no começo do ano e não teriam espaço para alocá-los se não se desfizessem dos que já estavam ali; por fim, a última situação ocorreu pelo mesmo motivo da anterior, mas nesse caso, não foi proposto que os estagiários, professores ou alunos levassem os livros que lhes interessassem, a proposta foi de que se rasgasse as capas, para não ser possível identificar a origem e descartassem os livros para reciclagem. Por isso nos

questionamos sobre a validade em se gastar trienalmente cerca de 3,5 bilhões de reais com livros didáticos que em alguns casos sequer chegam aos alunos, mas não se tem um controle disso pois não se acompanha o destino desse material após a entrega para as escolas.

Como forma de pensar o problema, propomos este estudo no qual buscamos olhar para o livro didático de uma forma diferente da que usualmente é proposta em sala de aula, realizando um trabalho com os licenciandos em física em busca de mudanças que se reflitam na sua prática profissional, permitindo, eventualmente, que o uso do livro didático seja feito de forma diferenciada e atrativa. Acreditamos que o recurso seja válido precisando apenas de incentivos para o seu uso.

Ainda pensando no interesse do governo acompanhar e avaliar a política do livro didático, somos levados a perguntar se ele realmente existe. Essa política, atualmente, é feita pensando nos estudantes e no ambiente escolar ou existem outros que se beneficiam dela?

Pensando no valor investido anualmente e no lucro que as editoras têm com a venda deste material podemos concordar com Miranda e Luca (2004), quando dizem que “o livro didático assume claramente sua dimensão de **mercadoria**, sujeita a múltiplas interferências em seu processo de produção e vendagem” (p.128). Então temos uma situação em que o livro didático deixa de ser um objeto voltado para o ensino e assume um lugar de mercadoria e, quando se envolve muito dinheiro muitos outros fatores podem desviar a proposta do seu objetivo principal.

Ainda pensando no comércio dos livros temos que, atualmente, embora gerido pelo FNDE, a política nacional do livro didático conta com uma parcela significativa de organizações privadas, dentre as quais podemos destacar o Sindicato Nacional dos Editores de Livros (SNEL), a Câmara Brasileira do Livro (CBL), a Associação Brasileira de Editores de Livros (ABRELIVROS), a Associação Brasileira dos Autores de Livros Educativos (ABRALE) e o Instituto Pró-Livro. Sobre isso, Höfling (2000) diz:

A forte presença de setores privados – no caso, os grupos editoriais – na arena de decisão e definição da política pública para o livro didático pode comprometer a natureza, a própria conceituação de uma política social, com contornos mais democratizantes. (p.164)

Pensando, por fim, nas editoras, pegando um apanhado superficial de 1977 até 2017 temos que na década de 1970 tivemos 13 editoras (Brasil, FTD, Bloch, Ática, Ibec, Abril, Caminho Suave, Scipione, Primor, Ao livro técnico, Lemi, Vigília e Nacional), que se destacaram na produção de material didático. Destas, na década de 80, das oito editoras mais escolhidas, sete já figuravam entre as mais escolhidas na década anterior (Ática, Brasil, Ibec, FTD, Nacional e Scipione), tendo como novidade a editora Saraiva. Na década de 90 tivemos o ingresso da editora Formato entre as seis mais escolhidas, ficando as outras posições ocupadas por editoras que se pode denominar como “consagradas” (FTD, Scipione, Nacional, Ática e Brasil). Analisando as coleções escolhidas no PNLD de 2017 para as disciplinas de português, matemática e ciências temos que das oito editoras que tiveram mais coleções aprovadas, seis são de editoras tradicionais (Brasil, Ática, Saraiva, FTD, Ibec e Scipione). Com isso buscamos mostrar que grande parte do lucro advindo do programa nacional do livro didático favorece desde antes de ser chamado de PNLD um grupo de editoras. Citando Höfling (2000), temos que:

A acentuada centralização da participação de um grupo de editoras no PNLD coloca em questão as perspectivas de descentralização do programa. Na medida em que, por sua posição no mercado, dispõem de mecanismos mais eficientes de divulgação, de marketing voltados aos setores compradores e consumidores de seus produtos, esses grupos editoriais alcançam grande poder de penetração e circulação entre seus “clientes”. Essa situação, associada a outros fatores, condiciona, em grande medida, a escolha feita pelo professor. (HÖFLING, 2000, p.168)

Cabe ainda ressaltar que, em determinadas regiões, o livro pode ser a principal fonte de conhecimento e ser amplamente utilizado, portanto, altamente válida essa política. Mas, em algumas escolas, como destacado, não se faz uso algum desse material, por isso a ideia aqui não é invalidar tal política, mas sim propor que se pense mecanismos para aprimorá-la buscando melhor atender aqueles que dela fazem uso.

Apesar do grande número de trabalhos encontrados sobre o livro didático, tivemos dificuldades em encontrar aqueles que, olhando para o ensino de física, buscassem caracterizar esse material. Considerando a importância que o tipo de discurso tem em nosso trabalho nos sentimos na responsabilidade de tentar realizar esse processo. Para isso, vamos partir de características gerais do tipo de discurso *livro didático*.

Uma parte dos pesquisadores assumem o livro didático como uma soma de outros tipos de discursos, e por isso, encontramos trabalhos como o de Braga e Mortimer (2003), Rodrigues (2007), Striquer (2009), Farias e Oliveira (2013), Souza e Rocha (2015), entre outros, que refletem sobre os gêneros do discurso presentes no livro didático ou que extraem determinado discurso e o analisam isoladamente. Entretanto, podemos encontrar alguns pesquisadores que apontam algumas características dos livros didáticos ou apresentam definições que consideraremos como subsídio para o nosso trabalho, é o caso de Soares (2007) com o ensino de língua inglesa e Leite (2013) no ensino de física. Neste trabalho vamos seguir a linha, na qual o livro didático, embora seja constituído de diversos outros tipos de discurso, sua estrutura já está consolidada e ele pode ser caracterizado como tipo de discurso próprio.

A primeira caracterização do livro didático que apresentamos é a de Leite (2013), segundo o autor:

Assim, serão considerados livros didáticos os impressos que [...] trazem uma proposta pedagógica organizada didática e metodologicamente dos conteúdos que foram selecionados entre todos os possíveis conteúdos que compõem o vasto campo de conhecimento acumulado de uma disciplina, que trazem exercícios distribuídos em cada unidade, que se destinam a uma série específica (grau escolar) ou trazem a indicação de que é volume único para diversas séries, e que, desde a sua concepção, foram pensados para serem utilizados tanto coletivamente em uma sala de aula sob a orientação de um professor, quanto individualmente em casa pelo aluno. (LEITE, 2013, p.90)

Sobre a posição do autor, atualmente, no Brasil, para ser aprovado pelo PNLD como um livro didático e ser adquirido, é preciso que o material seja acompanhado de uma versão própria para o professor, podendo ser intitulada de diferentes formas, seja manual do professor, caderno do professor ou outros termos. Nesse material os autores apresentam o que eles imaginaram como uso para o livro, com isso, muitos livros apresentam propostas didáticas para se trabalhar os assuntos e vertentes metodológicas que acreditam se adaptar melhor à proposta apresentada, o que não deve, de forma alguma, no nosso entender, limitar o trabalho do professor, uma vez que ele deve ter a sua liberdade e autonomia em sala de aula.

Outra definição que pode ser apresentada é a de Martins (2015), a autora se baseia nas ideias de Apple e Forquim para apresentar que:

O livro didático é um artefato cultural que reflete a história da disciplina de determinado período, ou seja, ele é entendido como um material de fonte de pesquisa, uma vez que expõe elementos de um currículo da disciplina a qual se destina. Ao mesmo tempo, o livro didático é um produto social que possui e reflete influências culturais e políticas, ou seja, ele reflete uma realidade cultural dos modelos de escolas que o utilizam. (MARTINS, 2015, p.15)

Com essa citação trazemos a importância do caráter social, cultural e histórico do livro didático que não está imune de trazer em sua organização, influências dos autores e da sociedade do momento em que ele foi escrito, trata-se de um material produzido ideologicamente. Assim, Martins (2015) acredita que esses elementos são muito importantes para se caracterizar o livro e, por trazerem elementos dos autores, trata-se de um tipo de discurso próprio, com características que o diferenciam.

Outro autor que trabalha com esse tema é Choppin (2004, p.553). Para o autor o livro didático exerce quatro funções essenciais, a *função referencial* que traz para o livro didático a característica de servir de suporte e depósito de conteúdos, esquematizado de forma a apresentar técnicas e habilidades que se considere importante apresentar para novas gerações; a *função instrumental* que se refere aos métodos de aprendizagem, apresentando exercícios e atividades para facilitar, não apenas a compreensão das disciplinas, mas também a memorização dos conteúdos; a *função ideológica e cultural* que imprime no livro didático a cultura e os valores das classes dirigentes, e a *função documental* que permite ao aluno desenvolver o espírito crítico.

Diante das posições apresentadas, consideramos que os livros didáticos têm características culturais e ideológicas, próprias de uma determinada sociedade em uma época específica. Eles passam por um processo de editoração e atendem a alguns parâmetros estabelecidos. Além disso, esse material deve ser estruturado didática e metodologicamente, de forma a auxiliar o trabalho do professor e também oferecer recursos para o aluno se desenvolver de forma individual.

Apesar de muitas críticas serem tecidas a respeito do livro didático, esse ainda é um recurso muito presente nas salas de aula do Brasil. Zambon e Terrazan (2017) buscaram em seu estudo verificar como esse recurso está sendo utilizado nas escolas de nível médio de Santa Maria/RS. Os autores nos remetem a pesquisas realizadas por Santos (2001) que mostravam que o livro didático costumava ser reproduzido em sala de aula

enquanto nas pesquisas feitas por Baganha (2010) o livro perde essa característica e passa a servir como organizador curricular, com base no qual os professores organizam os assuntos que seriam abordados nas aulas.

Um apontamento feito pelos pesquisadores e que merece atenção é o fato de que “[...]a utilização do livro didático pelo professor, tanto na organização de suas aulas, como em sala de aula com os alunos, tem os exercícios como ponto central e segue uma forma já naturalizada de ensinar Física.” (ZAMBON, TERRAZZAN. 2017, p.17). Essa forma de ensinar consiste na exposição oral do conteúdo pelo professor, seguido da indicação de alguns exercícios do livro que devem ser resolvidos. Assim, os autores perceberam que o papel do livro didático “[...]restringe-se ao de fonte de listagens de exercícios para os alunos resolverem e, em alguns casos, ao de fonte para leitura sobre o assunto tratado.” (ZAMBON, TERRAZZAN. 2017, p.17), o que, segundo eles, representa o mesmo uso observado por Décio Pacheco, na década de 70.

Esse olhar sobre o livro como depósito de exercícios pode ser motivado e sustentado ao longo das décadas por conta do seu uso no ambiente universitário, na formação inicial do professor de física. Geralmente seu uso se restringe à resolução dos exercícios após a apresentação do conteúdo pelo professor e, tendo o utilizado dessa forma, ao chegar na educação básica muitas vezes o professor pode desconhecer outra forma de se trabalhar com esse material, gerando um ciclo para o uso do livro didático.

Diante dessa constatação, somos levados a pensar sobre a instauração e as mudanças que o PNLD trouxe para o ensino. Como já comentado, o programa investe anualmente uma quantia elevada de dinheiro em livros didáticos que são entregues e deveriam ser distribuídos aos estudantes, mas que não apresentam uma mudança significativa na forma como se dá o ensino de física em nível médio.

Ainda nesse trabalho, Zambon e Terrazzan (2017) apontam que, o que mudou desde a implantação do programa é que agora “os alunos dispõem de um texto que, se não é lido e discutido em sala de aula, ao menos está à disposição em sua casa, para estudos posteriores” (p.18). Assim os alunos não precisam mais passar parte da aula copiando textos elaborados, muitas vezes, pelo professor com base em recortes de várias fontes. Embora tal afirmação possa não ser aceita em todos os ambientes, já que, como foi apresentado anteriormente, pode acontecer dos livros não serem entregues para os alunos.

Leite, Garcia e Rocha (2011) nos apresentam ainda uma reflexão sobre a forma como o livro didático é apresentado frente às inovações tecnológicas da atualidade:

Diante das inovações tecnológicas surgidas nos últimos anos, o livro didático, por possuir características intrínsecas e imutáveis, aparenta ser um objeto obsoleto e ultrapassado. Sua estrutura é linear, enquanto que cada vez mais as crianças aprendem a navegar pela internet de forma dinâmica por uma infinidade de conteúdos. Ele possui relativamente poucas páginas, enquanto que em um único CD é possível armazenar milhares de páginas e imagens. Ele não possui um sistema de busca, enquanto que os softwares atuais permitem encontrar qualquer tema, frase ou palavra em poucos segundos (LEITE, GARCIA, ROCHA, 2011, p.11740)

Assim, diante disso, reforçamos a importância de se pensar formas de trabalhar com o livro didático em sala de aula que fujam da tradicional resolução de exercícios, e que sejam capazes de envolver os alunos nas atividades. O livro, atualmente é avaliado segundo vários critérios de seleção, que fazem com que, em seu corpo seja apresentado não apenas um texto base, mas várias outras informações, como reportagens de jornais, notícias, curiosidades, etc. que podem servir como recurso de ensino, mesmo que esses outros recursos estejam extremamente relacionados com o texto central.

Sobre a importância de se trabalhar com esse material na formação inicial temos:

Acredita-se que a forma como o professor foi orientado a trabalhar com o livro didático durante a sua graduação pode contribuir para que ele utilize ou abra mão do uso desse recurso em sala de aula. Se optar pela não utilização, os bilhões de reais investidos pelo governo anualmente nos programas de livros didáticos serão desperdiçados ou, com alguma sorte, subutilizados. (LEITE, 2013, p.21).

A colocação do autor condiz com uma noção do referencial teórico que adotamos neste trabalho, a do *interdiscurso*. Segundo essa noção, todo dizer parte de um já-dito, “[...]ele é o saber, a memória discursiva. Aquilo que preside todo dizer. É ele que oferece a cada sujeito sua realidade enquanto sistema de evidências e de significações percebidas, experimentadas” (ORLANDI, 2010, p.18). Ou seja, acreditamos na importância de se trabalhar com diferentes tipos de discursos na formação inicial, dentre os quais olhamos para o livro didático, pois isso pode proporcionar aos licenciandos um

contato com matérias e formas de se trabalhar diferentes. Outro trecho de Leite (2013) que corrobora com nosso ponto de vista é “[...]a maneira com que um professor utiliza o livro didático em sala (ou o ignora) incorpora necessariamente elementos de outros segmentos de sua vida e de sua história acadêmica” (LEITE, 2013, p.17).

Outro ponto que queremos trazer, para enfatizar a importância de se trabalhar com esse material na formação inicial se encontra no Parecer CNE/CES nº1.304 de 06/11/2001. Tal parecer estabelece as Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física, segundo ele:

No caso da Licenciatura, porém, as habilidades e competências específicas devem, necessariamente, incluir também:  
1. o planejamento e o desenvolvimento de diferentes experiências didáticas em Física, reconhecendo os elementos relevantes às estratégias adequadas;  
2. a elaboração ou adaptação de materiais didáticos de diferentes naturezas, identificando seus objetivos formativos, de aprendizagem e educacionais. (DIRETRIZES NACIONAIS CURRICULARES PARA OS CURSOS DE FÍSICA, 2001, p.5).

Dessa forma, a realização de atividades com diferentes materiais, e como proposto aqui, diferentes tipos de discursos, pensando seu uso em sala de aula de nível médio pode atender essas habilidades e competências colocadas como importantes para o futuro professor de física.

#### **2.4. Os textos de divulgação científica**

Antes de buscar compreender alguns elementos da Divulgação Científica (DC), podemos pensar com que objetivo ela foi criada.

A divulgação científica é uma maneira indispensável de fazer com que a ciência seja acessível às pessoas que não têm formação científica. Sem dúvida, existe uma parcela da população que se interessa pelos temas científicos e que compra revistas e livros, assiste documentários, visita museus de ciência e tecnologia e faz cursos de curta duração. A estes, as obras já existentes cumprem de maneira satisfatória o seu papel.

Porém, existe outra parte da população que não tem especial interesse em ciências, e é a esta parcela da população que divulgadores científicos têm que voltar parte de sua produção, seja na forma de livros, revistas, documentários ou cursos de curta duração. Tais materiais devem ser voltados a despertar o interesse nestas pessoas que não têm, até então, demonstrado serem propensas a discutir temas científicos. (DAMASIO; TAVARES, 2011, p.1)

Sobre a dificuldade em se compreender características desse tipo de discurso, Lima e Giordan (2017, p.84) nos indicam que existem diversas terminologias que se encarregam desse processo de apresentar informações científicas, algumas delas podem nos remeter a termos negativos como é o caso da difusão, disseminação e da vulgarização científica, outros são mais amenos como a popularização e o jornalismo científico. Embora todos tenham seu espaço cabe destacar que não são sinônimos. Os tipos de discursos que cercam a DC são vários e distintos, o que torna a sua caracterização complexa.

Buscando caracterizar a DC, com base em nossos referenciais, começamos nos pautando em Orlandi (2001) que diz que a divulgação científica não é o jornalista reescrever o que diz o cientista, é preciso ir além. Assim, não se trata de uma junção de dois tipos de discursos – jornalístico e científico – mas sim de um novo tipo discursivo, com características próprias. Para a autora: “O discurso de divulgação científica não é uma soma de discursos: ciência mais jornalismo igual divulgação científica ( $c+j=dc$ ).” (ORLANDI. 2001, p. 22). Tal caracterização feita pela autora não se limita a DC escrita por jornalista, ela também é válida para a escrita pelos cientistas. Esse tipo de discurso, independente do seu autor, não consiste da simples soma, ou cópia com modificações, de dois tipos de discursos. Destacamos que, embora possam, no caso da DC, serem próximos, os discursos jornalísticos e científico são tipos diferentes de discursos, com características específicas.

Ainda pensando essa relação da DC com outros tipos de discursos, Grigoletto (2005) apresenta uma inquietação. Ela se questiona se a DC é uma reformulação do discurso científico, nesse caso, feita pelo jornalista, ou se é um novo tipo de discurso. Para a autora, a DC não consegue se separar totalmente do discurso da ciência, uma vez que seu objeto se encontra ali. Grigoletto (2005) aponta, então, na direção de que o discurso da DC trata de um deslocamento discursivo. Nesse sentido, a DC possui características próprias, mas não se desliga totalmente do discurso científico, e não se liga totalmente ao discurso jornalístico.

Devido a essa proximidade entre os tipos de discursos com base em seu padrão linguístico, pesquisadores como Nascimento (2005, p.133) e Silva (2006, p.53) enfatizam que a diferença central entre a DC e demais tipos de discursos está em sua condição de produção. Para a primeira autora, a DC é fruto de uma atividade discursiva, enquanto o conhecimento científico tem suas raízes no próprio cientista. Já Silva (2006)

chama a atenção para o fato de que esse discurso é elaborado para que circule na sociedade. Assim, o processo de desenvolvimento da DC, desde a sua origem no autor até o leitor real, perpassando a ideia do leitor virtual, é um processo único e capaz de, por si só, caracterizar a DC como tipo próprio de discurso.

Nessa vertente da produção da DC, Nascimento (2005) aponta que é comum que os autores recorram a elementos linguísticos como metáforas e analogias. Muitas vezes esse processo tem o objetivo de eliminar termos específicos do discurso científico. Cabe destacar que esses elementos linguísticos estão sendo muito utilizados no ensino de ciências, em específico na física, como podemos notar em trabalhos como o de Bozelli (2005), Goulart (2008), Silva e Martins (2010), Andrade *et al* (2014), Kopp e Almeida (2019) entre outros.

Já sobre a circulação dos discursos, retomamos Grigoletto (2005), que destaca que a DC pode circular em diferentes ambientes, uma vez que é constituída tendo como base diferentes elementos, que permitem um trânsito entre as esferas. A autora indica ainda que isso não implica que a DC não seja um tipo específico de discurso, mas sim, que, dada a sua proximidade e ressonância com os outros tipos de discursos, ela possui certa facilidade em transitar por ambientes nos quais, geralmente, se utiliza o discurso científico ou o discurso jornalístico. Destacando essa possibilidade de transitar que a DC possui temos que:

[...]divulgação científica, aqui entendida como uma prática protagonizada tanto por comunicadores quanto por cientistas que, usualmente apoiada nos recursos da mídia e dispendo de uma formatação intelectual própria, tem como objetivo permitir que o patrimônio científico, geralmente exclusivo de uma minoria (os especialistas), seja compartilhado com uma maioria de indivíduos leigos. (BERTOLLI FILHO, 2002, p.353)

O autor traz uma colocação que nos agrada ao apontar que a DC possibilita que um maior número de pessoas tenha acesso a conhecimentos que anteriormente ficavam restritos à academia. Nos intriga, entretanto, o termo utilizado pelo autor, será mesmo que a DC é feita para o público leigo? Percebemos que essa nomenclatura pode ser encontrada em outras pesquisas, como é o caso de Nascimento (2005) que apresenta ideias convergente com as nossas e que aponta que “[...] a DC é produzida por um grupo de especialistas num determinado tópico que tem como propósito apresentar para um público leigo atualidades concernentes a sua área específica de atuação e/ou conhecimento.” (p. 130). Diante disso, achamos interessante trazer Silva (2006) quando

o autor aborda a disseminação da ciência para leigos. Destacamos que aqui, a disseminação apresenta um caráter vulgar.

Além dos problemas associados ao termo ‘disseminação’, essa formulação atualiza um imaginário que vê na divulgação científica uma atividade unidirecional produto da interlocução exclusiva entre cientista (ou jornalista) e o não-cientista. Essa formulação não dá conta de que a divulgação científica também está envolvida na interlocução cientista-cientista. Dado o grau de especialização da atividade científica atual, um cientista é sempre mais ou menos leigo em campos que não sejam estritamente vinculados ao seu próprio trabalho. (SILVA, 2006, p.58)

Silva (2006) aponta então que a DC é um tipo de discurso que pode estar presente em diversos ambientes e atingir um público ainda maior, uma vez que todos somos ‘leigos’ em algum assunto, podendo nos utilizar desse recurso para buscar informações sobre determinados assuntos. Dito isso, podemos considerar então que a DC, mesmo não sendo produzida com o intuito de estar presente no ensino formal (NASCIMENTO, 2015), pode estar presente em ambiente escolar e universitário.

Algumas pesquisas como a de Zanotello e Almeida (2013) mostram o potencial que o recurso pode ter. Para os autores, que trabalharam com o ensino de física, a DC, por evitar a linguagem matemática costuma ser mais atrativa e motivadora para os alunos. Ainda nessa vertente da possibilidade de se trabalhar com o recurso no ensino, Silva e Kawamura (2001) trazem que a DC pode despertar o interesse em aprender, além de ser, na maioria das vezes, ‘instigante’, para os autores, isso “[...] alerta-nos para o seu potencial como recurso didático.” (p.316).

Mas, o que a DC tem de diferente em relação a outros recursos que podem ser trabalhados no ensino, como por exemplo, os livros didáticos? Citamos dois estudos sobre o tema:

[...] manuais didáticos, quando incorporam assuntos atuais, quase sempre o fazem de forma superficial, como uma curiosidade, ou dirigindo-se apenas à formação profissional. Os artigos publicados em revistas científicas são editados em uma linguagem geralmente inteligível apenas para especialistas no assunto de que trata o artigo. Assim, para a maioria da população, a possibilidade de acesso a ocorrências e controvérsias da Ciência e da Tecnologia, através da leitura, fica restrita ao texto de divulgação. Nele a perda no rigor científico e a falta de aprofundamento em detalhes específicos é, muitas vezes, compensada pela abrangência e visão global com que determinados temas são abordados. (ALMEIDA, RICON, 1993, p.8)

Nesse primeiro estudo, os autores destacam que a DC tem um caráter mais dinâmico que os materiais didáticos e conseguem acompanhar de forma mais atualizada

alguns dos desenvolvimentos científicos. Entretanto, o tipo de discurso, algumas vezes prioriza a abrangência e visão global ao aprofundamento em pontos específicos, o que nos leva a acreditar no seu potencial dentro do ambiente escolar, mas de forma interligada a tipos de discursos produzidos para tal situação, o que nos remete a Grillo, Dobranszky e Laplane (2004) que apresentam, de forma sucinta, outro ponto de diferença entre esse recurso e o do livro didático:

Os livros didáticos exemplificam os discursos didáticos ao passo que as publicações de divulgação científica podem ser caracterizadas como representantes de discursos estritamente informativos e que não manifestariam nenhuma intenção de tornar o outro mais competente em uma área de saber. Esses dois grandes grupos se definem em função das condições de produção, de recepção e de circulação desses discursos. (GRILLO, DOBRANSZKY, LAPLANE, 2004, p. 216)

Então, como destacam os autores, embora acreditemos que o material de DC possa ser utilizado como recurso escolar, devemos lembrar que ele, originalmente, não foi formulado com tal objetivo. Além disso, cabe destacar que, como já dissemos, existem diferentes tipos de DCs.

Assim, embora a divulgação realizada trate um mesmo assunto ou tema, a forma como a faz pode ser diferente, mesmo todas sendo consideradas divulgação científica (DC). Buscando evidenciar isso, Grillo, Dobranszky e Laplane (2004) apontam que alguns textos de DC buscam ‘seduzir’ o leitor, como forma de alavancar suas vendas. Tomamos a liberdade de complementar tal afirmação com alguns levantamentos de Nascimento (2005, p.132) que enfatiza que algumas DC buscam atrair o público leitor a partir da inserção de imagens, títulos mais impactantes e outros elementos que trazem um apelo à leitura. Podemos associar tal artifício com as revistas popularmente encontradas em bancas de jornais ou locais de fácil acesso para todas as pessoas. Entretanto, não são todas as revistas de DC que têm esse perfil, por exemplo, a revista *Pesquisa FAPESP*, apresenta todo seu texto em terceira pessoa o que é uma característica muito presente em textos científicos da área de exatas. Eles apontam ainda que o leitor dessa DC não necessita ser ‘seduzido’, ele já está familiarizado com o estilo e conhece a revista. De forma geral, temos que essa é uma revista de DC, mas difere de outras pelo seu leitor virtual (ORLANDI, 2006), então “os autores contam com um leitor especial, *interessado em ideias físicas e filosóficas* e que se esforça para compreendê-las.” (ALMEIDA e RICON, 1993, p.9). Ao elaborarem esse material, os autores dessas revistas têm como possíveis leitores pessoas do meio acadêmico, que buscam a revista para assuntos

específicos e que possuem um contato com determinada linguagem científica, e por isso, atrelado ao peso do nome que carrega (FAPESP) a revista, aparentemente, não precisa envolver o leitor para que ele a adquira.

Esperamos com isso, ter conseguido apresentar ao leitor alguns elementos próprios do tipo de discurso da divulgação científica que possui características peculiares, mas que consegue se adaptar a condições de produção e circulação específicas trazendo consigo algumas mudanças no próprio tipo.

## **2.5. A Análise do discurso**

Neste trabalho vamos nos basear em noções da análise do discurso (AD) na vertente que teve em Michel Pêcheux um de seus principais articuladores. Utilizaremos, principalmente, trabalhos de Eni Orlandi.

A primeira noção que buscamos trazer aqui, considerando que nos propusemos a trabalhar com diferentes tipos de discurso, é exatamente a ideia de discurso apresentada por Orlandi (1994):

Vamos definir diretamente o discurso como efeito de sentido entre locutores. [...]se pensamos o discurso como efeito de sentidos entre locutores, temos de pensar a linguagem de uma maneira muito particular: aquela que implica considerá-la necessariamente em relação à constituição dos sujeitos e à produção dos sentidos. Isto quer dizer que o discurso supõe um sistema significante, mas supõe também a relação deste sistema com sua exterioridade já que sem história não há sentido, ou seja, é a inscrição da história na língua que faz com que ela signifique. Daí os efeitos entre locutores. (ORLANDI, 1994, p.53).

Souza (2006), ao apresentar a ideia de discurso também traz a importância da história nesse processo, segundo o autor “O discurso é essa conjunção necessária da língua com a história, produzindo a impressão de realidade” (SOUZA, 2006, p.17). Temos então que, para o autor, o discurso é o efeito de sentido entre aquele que produziu um enunciado e aquele que o recebeu e, nesse jogo de significações a história está presente. Aqui, falamos história no sentido de situações vivenciadas pelos locutores, que permitem que cada sujeito produza sentidos de uma forma para um discurso, ou mesmo para um mesmo discurso em épocas diferentes. Orlandi (2012a) ressalta essa possibilidade quando diz que “não há um relação termo-a-termo entre a linguagem, o pensamento e o mundo. “[...]há mediações que sustentam de tal modo que os sentidos não

são os mesmos para sujeitos diferentes” (p.151). Ainda pensando a possibilidade de existirem diferentes efeitos de sentidos para um mesmo discurso, podemos apresentar Almeida, Cassiani e Oliveira (2008), “[...]a linguagem não pode ser pensada como se fosse transparente. Ou seja, a produção de sentidos entre interlocutores não é idêntica” (p. 18). Na sua colocação as autoras apresentam uma noção que consideramos fundamental na AD, a da não transparência da linguagem.

Sobre a não transparência da linguagem, temos o que diz Orlandi (2012a) “A primeira observação é a de que a linguagem não é transparente. Desse modo, não podemos tomar a perspectiva de que podemos atravessar simplesmente as palavras para encontrar, através delas, sentidos que ali estariam depositados” (p. 151). Assim, para a autora, a leitura envolve o sujeito, a linguagem e a história, por isso não pode ser transparente. Para ela, o funcionamento da linguagem está na relação estrutura/acontecimento. Ou seja, não se pode limitar a falar de um tipo de discurso. No caso deste trabalho do livro didático e da divulgação científica, sem pensar em como ele foi desenvolvido visando a produção de sentidos. Ainda sobre a não transparência da linguagem citamos Almeida e Sorpreso (2010):

Entre posições diferenciadas que podemos encontrar ou subentender a esse respeito está a consideração ou não da transparência da linguagem na leitura. Se aquela for admitida como transparente, esta pode ser pensada como uma ferramenta capaz de transmitir determinado conhecimento exatamente como foi produzido. Já a não transparência da linguagem acarreta entre outras consequências a necessidade de pensarmos a leitura como uma interlocução que envolve interpretações, tanto de quem escreve quanto de quem lê. (p. 2)

Refletindo Almeida e Sorpreso (2010), nosso trabalho entende que a linguagem não é transparente e por isso é importante a aceitação dos múltiplos sentidos produzidos e da mediação do professor como forma de trabalhar esses sentidos, uma vez que, apesar de diversos, os sentidos não podem ser quaisquer uns. Queremos com isso mostrar que a linguagem não apresenta uma relação direta entre palavras e significados. Cada sujeito pode lhe atribuir um sentido diferente com base em sua história de vida e condições de produção da leitura.

Quando falamos em condições de produção queremos ressaltar a importância do momento no qual a atividade é realizada. Assim, um sujeito pode produzir sentidos diferentes quando lê um mesmo tipo de discurso em sala de aula ou em sua casa. As condições de produção incluem também as históricas, ou seja, as diferentes leituras já

realizadas por cada sujeito também têm papel fundamental no que chamamos de condição de produção de determinada leitura.

As condições de produção de um discurso incluem mecanismos materiais, institucionais e imaginários. E, nas relações discursivas, os mecanismos imaginários implicam em diferentes posições associadas a imagens relativas tanto aos sujeitos quanto aos objetos do discurso. (ALMEIDA, CASSIANI e OLIVEIRA, 2008, p. 20)

Ainda diante dos efeitos de se assumir a não transparência da linguagem e com base em Orlandi (2012b, p. 32), podemos encontrar em sala de aula três tipos de discursos formulados pelos sujeitos: o discurso autoritário em que temos a imposição de um sentido único, seria o caso de se considerar a linguagem como transparente e assumir que todos os sujeitos ali envolvidos devem produzir o mesmo, e único, sentido para o que foi apresentado; o discurso lúdico que, em oposição ao autoritário, entende que o sentido pode ser um que ainda não é aceito, mas que em outras condições de produção ou épocas pode vir a ser aceito, tendendo à ideia de *non sense*, e o discurso polêmico, que é o almejado com as atividades propostas neste trabalho. Esse discurso apresenta um equilíbrio entre o autoritário e o lúdico, ou seja, ele aceita que coexistam mais de um sentido. Entretanto, ele não pode ser qualquer um. Referindo-se à análise de discurso, Orlandi completa que:

Quanto ao sentido, ela também produz sua crítica a suas tendências que se ligam: à que propõe o sentido literal (o sentido é um, do qual derivam os outros) e à que, no lado oposto, diz que o sentido pode ser qualquer um. Ambas posições são a negação da história. A Análise de Discurso considera que o sentido não está fixado a priori, como essência das palavras, nem tampouco pode ser qualquer um: há determinações históricas do sentido. (ORLANDI, 1994, p. 56)

Nesse ponto somos convidados a refletir, o que determina esse limite tene entre o discurso polêmico, o lúdico ou o autoritário? Almeida, Cassiani e Oliveira (2008) nos dizem que é a ideologia “[...]que torna possível a relação entre palavras e coisas, ou seja, ela viabiliza a relação entre pensamento, linguagem e mundo.” (p. 20). Assim pensamos a ideia de ideologia na AD, que é diferente da ideia de ideologia como convicção filosófica, social e/ou política. Na AD, “A ideologia é interpretação de sentidos em certa direção, determinada pela relação da linguagem com a história, em seus mecanismos imaginários” (ORLANDI, 1994, p. 57).

A ideologia é então, o mecanismo que permite a produção de sentidos, ela é o imaginário que possibilita ao sujeito se relacionar com o discurso e com as suas condições de existência, produzindo determinado sentido. Além disso, “[...]o imaginário enquanto representação revela um sentido ou envolve uma significação para além do aparente.” (MAKOWIECKY, 2003, p. 5). Por conta da ideologia e de considerarmos a língua como não transparente é que temos a produção de diferentes sentidos, mesmo em uma situação na qual os sujeitos se encontram sob as mesmas condições de produção da leitura. Assim, a ideologia oferece os recursos necessários para a produção de sentidos e é constitutiva da memória do sujeito, suas vivências e pela formação discursiva que se faz presente no momento em que ele produz sentido. Por ser uma posição individual de cada sujeito, é difícil se afirmar como a ideologia funciona mas sabemos que sem ela é como se o sujeito não existisse e sem sujeito não existiria discurso.

Portanto, não podemos ter certeza de como as pessoas estão significando/interpretando as palavras que supomos serem as mesmas para todos. Porque não temos o controle sobre o modo como a ideologia funciona, constituindo o indivíduo em sujeito, nem como os sentidos fazem sentido para os sujeitos. Não sabemos como os sentidos se constituem em nós mesmos. Nossa memória discursiva é estruturada pelo esquecimento. (ORLANDI, 2012a, p. 156)

Pensar a ideologia então nos leva a pensar sobre a memória do sujeito. Aqui sabemos que um discurso não tem origem nele mesmo, para existir ele precisa ser sustentado por outros discursos. Da mesma forma, um sentido também precisa estar apoiado em outros. Embora tenhamos a impressão de que estamos produzindo um dizer novo, nossa memória está dialogando com outros dizeres para tornar o nosso discurso possível naquele momento.

A memória, em análise do discurso, refere-se ao saber discursivo, ao fato de que todo dizer se produz sobre um já-dito. Todo dizer é assim já um gesto de interpretação, uma posição, entre outras, em relação a uma memória. Para que nossas memórias façam sentido é preciso que já signifiquem, que se produzam em uma memória discursiva, que possam ser interpretadas. Falamos com palavra que (já) fazem sentido. (ORLANDI, 2012a, p. 171)

A memória é então constituída da história de vida dos sujeitos, das leituras que fizeram e dos discursos que produziram anteriormente. Mesmo se tratando de um processo automático e sobre o qual não temos controle, é a junção desses elementos com a condição de produção do discurso que permitem ao sujeito formulá-lo como novo, mas

tendo como base um já-dito. Essa memória, que permite a formulação dos discursos, também pode ser chamada de interdiscurso.

Para fazer sentido, a língua, sujeira a falhas (divisão), se inscreve na história, produzindo a discursividade. A discursividade, por sua vez, caracteriza-se pelo fato de que os sujeitos, em suas posições, e os sentidos, constituem-se pela sua inserção em diferentes formações discursivas. Estas se definem como aquilo que o sujeito pode e deve dizer numa situação dada em uma conjuntura dada, e refletem, no discurso, as formações ideológicas. (ORLANDI, 2012a, p. 152-153)

Assim, temos que uma formação discursiva é composta por uma formação ideológica que determina o que pode e deve ser dito em cada situação. É a formação discursiva que permite reconhecermos, por exemplo, um discurso de uma aula de física, mas não encontramos esse discurso no uso cotidiano, fora do ambiente escolar. A formação discursiva então, é constituída por regras, que possuem fundamento histórico e que são determinadas pelas condições de produção do discurso. Assim como o discurso que não tem origem em si, Souza (2006) defende que as formações discursivas também não o têm, elas se originam de outras formações e, dado a historicidade, com o tempo elas se fundamentam dando origem a uma nova formação discursiva.

Pensar a formação discursiva é fundamental neste trabalho, visto que ao trabalharmos com tipos de discursos estamos estudando essas formações discursivas e como os sujeitos se relacionam e produzem sentidos a partir delas.

[...]cada tipo estabelece a relevância de certos fatores (e não outros) para as condições de significação do texto, isto é, a tipologia opera um recorte que distingue o que no contexto da situação deve ser levado em conta na constituição do sentido. (ORLANDI, 2012b, p. 31)

Então, o tipo de discurso é formulado a partir das condições de produção, imediatas e históricas, e do sujeito que possivelmente efetuará a leitura. Isso permite que sua composição seja feita de forma a priorizar determinados aspectos e conteúdos, possivelmente em detrimento de outros, não por serem irrelevantes, mas por não se adequarem à formação discursiva trabalhada. Com isso, os discursos passam a apresentar algumas características que podem ser generalizadas e agrupadas, tornando possível quase sempre se reconhecer um tipo em diferentes situações.

Retomando a questão dos discursos que podem estar presentes, no nosso caso, em sala de aula, temos um trânsito entre três outros tipos, o discurso pedagógico, o discurso científico e o discurso cotidiano.

O discurso pedagógico, segundo Orlandi (1987), é aquele institucionalizado sobre os conteúdos a serem trabalhados em ambiente escolar, para a autora, se trata do discurso do professor, no qual ele transmite uma informação, seja ela teórica ou científica, mas eximindo-se de apresentar seu próprio julgamento sobre o assunto. Entretanto, o que costumeiramente se observa, ainda segundo Orlandi, é que o discurso pedagógico tende ao discurso autoritário. Lança (2005) aponta para a necessidade de se alterar essa relação, possibilitando que o discurso pedagógico tenda ao discurso polêmico. Ambas as autoras destacam que uma proposta na qual os estudantes possam ter contato com um material para leitura e tenham a liberdade de produzir múltiplos sentidos, pode ser eficiente nessa busca do discurso pedagógico como polêmico.

Sobre o discurso científico, Coracini (1991, p.42), diz que é aquele dirigido a especialistas da área ou pessoas que tenham um conhecimento sobre o assunto e interesse em compreender mais sobre determinado tema. Para autora ainda, esse tipo de discurso tem como objetivo convencer o outro, seja através de demonstrações, da sua objetividade ou de sua neutralidade. Nesse tipo de discurso a proposta é que não ocorram pontos subjetivos ou noções pertencentes ao senso comum.

É graças à opacidade da linguagem, que permite a ilusão da aproximação efetiva do real, sem a interferência do sujeito e da ideologia, que esses discursos alcançam o objetivo que se propõem, qual seja: o de convencer o interlocutor da verdade (aparente) que enuncia. (CORACINI, 1991, p. 46)

Assim, podemos observar que o discurso científico, em um primeiro momento, busca apresentar um sentido único para o seu texto, o que sabemos, por Orlandi (1994), já apresentado anteriormente, que isso não acontece, o sentido não se fixa no texto *a priori*. Cabe destacar que não há como garantir a existência de um único sentido pois, citando Possenti (1997):

O próprio trabalho de eliminação da subjetividade é um trabalho dos sujeitos. No entanto, apesar da inevitável presença dos sujeitos, é crucial o trabalho de redução do vivido, da experiência pessoal, do interesse da ideologia. Quanto mais essas características se reduzem e mais se obtém uma linguagem estruturada, mais próximo se está do enunciado científico (isto é, do estilo do enunciado científico), vale dizer, do sistema de produção dos enunciados científicos (relembro: o que não significa enunciados “mais” verdadeiros). (POSSENTI, 1997, p. 14)

Então, mesmo que o discurso científico busque esse sentido único, ele não necessariamente será alcançado, trata-se de um discurso no qual se busca eliminar características pessoais.

Por fim, temos o discurso cotidiano. Montalvão Neto (2016) aponta que nesse tipo de discurso, o autor busca se aproximar de quem ele acredita que será seu leitor. É comum nesse tipo de discurso que o autor apresente questionamentos ou suposições que incitem no leitor a dialogar com o texto. Para esse autor, esse tipo de discurso tende a se aproximar da linguagem cotidiana. Tal tipo de discurso, em um primeiro momento, pode parecer estranho e fora de lugar se pensarmos o ambiente escolar, mas Bachelard (1996) nos fala que quando os estudantes chegam à escola eles possuem conhecimentos adquiridos no mundo cotidiano. Para esse autor:

[...]o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana. (BACHELARD, 1996, p.23)

Acreditamos que esse tipo de discurso pode estar presente no ambiente escolar de forma que o aluno não tenha uma ruptura abrupta entre o discurso cotidiano e o pedagógico, é possível por meio da leitura e do discurso polêmico tornar essa passagem mais sutil, de forma que o aluno relacione os discursos presentes em diferentes ambientes e compreenda os seus funcionamentos e momentos de uso. Destacamos que, em um primeiro momento, pode parecer estranho o apontamento de Bachelard atrelado a conceitos de Física Nuclear, entretanto, acreditamos que hoje, diante do fácil acesso a informações, muitos alunos já têm chegado em sala de aula com concepções sobre o tema, e por ser um assunto que foge do cotidiano, as informações e concepções muitas vezes são controversas.

Partindo do que foi apresentado até o momento, consideramos fundamental caracterizarmos o que entendemos por representações. Moraes *et al* (2014) dizem que “As representações sociais são o conjunto de explicações, crenças e ideias comuns a um determinado grupo de indivíduos; resultam de uma interação social, sem perder de vista, contudo, a questão da individualidade.” (p.2). Ainda sobre representações, Makowiecky (2003) explica que o termo tem origem latina na palavra *repraesentare* que significava “[...]fazer presente, ou apresentar de novo. Fazer presente alguém ou alguma coisa

ausente, inclusive uma ideia[...]” (p.3). Assim, os sujeitos, ao representarem apresentam elementos do seu imaginário, nos permitindo compreender como eles explicam, interpretam e compreendem o uso do livro didático e da divulgação científica, bem como o ensino de Energia Nuclear. Nessa mesma linha, Santos (2011) apresenta que as representações se interessariam “[...]por compreender como os indivíduos, inseridos em seus respectivos grupos sociais, constroem, interpretam, configuram e *representam* o mundo em que vivem. ” (p.34).

Com isso, temos que as representações são formas de determinado grupo, dentro de uma sociedade, atribuírem sentidos, descreverem e/ou explicarem um assunto. Cabe destacar que não podemos concluir que as representações são “[...]meras opiniões, mitos, pareceres, etc. pois são conhecimentos desenvolvidos pelo grupo e que se cristalizaram ao longo do tempo. ” (MORAES *et al*, 2014, p.4).

Apesar de afirmarmos, em consonância com Orlandi (2012b), que os tipos de discursos possuem características próprias, não podemos desconsiderar o que Silva (2006) nos apresenta sobre as formações discursivas terem origem em outras formações discursivas. Por isso é possível, tomando como exemplo o livro didático, encontrarmos diferentes formações discursivas, mas é no conjunto que temos o tipo de discurso chamado livro didático. Então, não podemos considerar pequenos recortes para se determinar o tipo discursivo, nesse caso, a “visão” geral é quem nos permite uma ou outra afirmação. Pensar sobre isso nos remete a citação que Orlandi (1995) faz de Courtine (1982):

O texto é heterogêneo:

1. Quanto à natureza dos diferentes materiais simbólicos: imagem, grafia, sons, etc.
2. Quanto à natureza das linguagens: oral, escrita, científica, literária, narrativa, descrição, etc.
3. Quanto às posições do sujeito.
4. Além disso, podemos trabalhar essas diferenças em termos de formações discursivas (FD). Nesse caso, temos um princípio importante que é o de que um texto não corresponde a uma só FD, dada a heterogeneidade que o constitui, lembrando que toda FD é heterogênea em relação a si mesma. (COURTINE, 1982 apud ORLANDI, 1995, p.115)

Dizemos isso para evidenciar que o uso de diferentes tipos de discursos em sala de aula pode proporcionar um contato com diferentes formações discursivas, não apenas podendo auxiliar na compreensão do conteúdo que está sendo trabalhado, mas

também sendo importante para que futuramente os sujeitos tenham mais recursos para formularem seus discursos e para fazerem relações entre um texto e outro.

Quando optamos por levar para a sala de aula determinado texto, imaginamos uma possível reação dos alunos quanto à produção de sentidos, Orlandi (2012b) chama isso de mecanismo de antecipação e, a partir dessa imagem que temos é que nossa aula é elaborada. Para a autora, “[...]compõe também a estratégia discursiva prever, situar-se no lugar do ouvinte a partir do seu próprio lugar de locutor. Esse mecanismo regula a possibilidade de respostas e dirige a argumentação: são as antecipações” (p.23). Além do mecanismo de antecipação, devemos considerar que outros fatores podem influenciar nas respostas dos alunos à leitura dos textos, outra é que existem relações de poder no ambiente escolar que agem como imposição na visão dos alunos para que eles produzam determinados sentidos e não outros.

Embora muitos fatores possam influenciar a produção de sentidos, a mediação do professor também tem um papel importante, não de forma a impor uma produção de sentido, mas como papel de guiar os alunos para o sentido esperado, destacando sempre que ele não é único e respeitando os outros que venham a aparecer. Essa diferenciação entre mediação e imposição é destacada em:

Uma consequência indesejável quando se fala em mediação é a de pensá-la no sentido de colocar a linguagem como instrumento. De nossa parte, ao contrário, consideramos a mediação como relação constitutiva, como ação que transforma. Não consideramos nem a linguagem como um dado nem a sociedade como um produto; elas se constituem mutuamente. (ORLANDI, 2012b, p.21)

Por fim, a última noção da AD que utilizamos neste trabalho é a de repetição. Acreditamos que os discursos podem ser constituídos a partir de três tipos de repetição, a empírica, a formal e a histórica. Orlandi (2006) as apresentam da seguinte forma:

- a) Repetição empírica: exercício mnemônico que não se historiciza (efeito papagaio)
- b) Repetição formal: técnica de produzir frases, exercício gramatical que também não se historiciza.
- c) Repetição histórica: a que inscreve o dizer no repetível (interpretável) enquanto memória constitutiva (interdiscurso). (ORLANDI, 2006, p. 24)

Embora concordemos com a autora, gostaríamos de destacar que, para ela, a repetição histórica é a mais desejada e a que representaria o verdadeiro aprendizado. Concordamos que essa repetição é desejável, mas no nosso trabalho consideramos que as

demais repetições também são válidas, uma vez que trabalhamos com textos longos, dentre os quais o aluno tem contato com diferentes conhecimentos e informações e, o fato dele conseguir, diante desses textos, identificar um trecho que corresponda aos questionamentos apresentados já representa um envolvimento e engajamento na atividade. Além disso, não podemos concluir que por não ter realizado uma repetição histórica o sujeito não tenha historicizado e produzido sentidos, o que pode acontecer é que a cultura escolar que vivenciamos prioriza o uso de repetições formais que, associadas à ideia de relações de poder em sala de aula, podem proporcionar um ambiente no qual os estudantes se sintam mais confortáveis em trabalhar com tal repetição, ao invés de apresentar as relações com outros discursos que fizeram por meio da repetição histórica.

## **2.6. A leitura na análise do discurso**

A leitura tem papel fundamental para a análise do discurso (AD), entretanto sua compreensão não deve se limitar a ela. Para a AD toda forma de linguagem deve ser considerada.

Orlandi (1987) nos diz que a linguagem é um processo fluído e enevado e, é justamente isso que o torna objeto de análise. Se trata de uma atividade em constante movimento e que depende de vários fatores, como a forma com que a enunciação é realizada, as condições históricas ou sociais, o ambiente em que os sujeitos se encontram, entre outros fatores.

Embora, como destacado, a noção de linguagem seja inerente a todo discurso, nesse trabalho vamos nos focar no discurso escrito, ao qual chamaremos de texto e sobre o qual Orlandi (1987) diz: “o texto é o lugar, o centro comum que se faz no processo de interação entre falante e ouvinte, autor e leitor” (p. 180). Assim, ao entrarmos em contato com um texto estamos, em última instância, entrando em contato com o autor e é nesse intervalo que acontece a produção de sentidos. Dito de outra forma, ao escrever um texto, o seu autor idealiza o sujeito que ele acredita que efetuará a leitura e as condições em que essa leitura ocorrerá, Orlandi (2012b) diz que o autor escreve pensando em um leitor virtual

Considerando então que, o autor idealiza um leitor, no momento real da leitura, a apreensão do sentido do texto pode se aproximar ou distanciar daquele que o autor quis expressar. Esse processo, chamado de legibilidade do texto, depende não

apenas de questões gramaticais, de coesão e/ou coerência do texto. É preciso considerar a aproximação entre esses leitores, o imaginário e o real.

Além dessa questão entre os personagens do processo de enunciação e recepção é importante na AD considerar os tipos de leituras que podem ser realizados diante de diferentes condições de produção.

a) o que tem relevância para o leitor é a relação do texto com o autor (seria, por exemplo, o modo de leitura que responde à questão “o que o autor quis dizer?”); b) a relevância é a da relação do texto com outros textos (seria, por exemplo, a leitura comparativa); c) a relevância é a da relação do texto com seu referente (seria, por exemplo, a leitura que responde a questão “o que o texto diz de x”); d) a relevância é a da relação do texto com o leitor (seria a explicitação do papel do leitor, respondendo a questão “o que você entendeu”). (ORLANDI, 1987, p. 184)

Posteriormente, a mesma autora adiciona mais um item às formas de leitura que podem ser realizadas “e) relação do texto com o para quem se lê (se for o professor)” (ORLANDI, 2012b, p. 12).

Através dos modos de leituras possíveis, a autora busca enfatizar a importância que o contexto tem na apreensão de sentidos. Sem esse fator, não há a possibilidade do leitor se distanciar o bastante do texto para se aproximar do autor que pode resultar em situações comuns nas quais o leitor chega ao final do texto sem saber o que ele deveria ter entendido.

Mais do que isso, a autora enfatiza também que um texto pode se relacionar com diferentes situações e também com diferentes textos, o que chamamos de intertextualidade. Essa noção implica que um texto pode significar mais do que ele significa de forma isolada e desconexa de outros, entretanto, esse fenômeno pode assumir proporções inimagináveis para o autor no momento de sua enunciação, uma vez que ele não possui controle de quem será seu leitor real.

De forma geral, podemos dizer que as leituras com relação às suas atribuições de sentido podem variar entre dois extremos denominados *leitura parafrástica* na qual o leitor reconhece um único sentido que supõe ser o que o leitor busca transmitir e reproduz isso como verdade e, *leitura polissêmica*, na qual há a atribuição de múltiplos sentidos e a qual consideramos mais importante em um ambiente escolar.

Assim, para Orlandi (2012b) “Leitura, vista em sua acepção mais ampla, pode ser entendida como “atribuição de sentidos”” (p. 7) e isso não se trata de dizermos que se entendeu ou não um texto, é importante nos atentarmos aos processos de significação que

aconteceram durante o processo e é nesse sentido que a leitura aparece de forma tão importante no contexto da AD.

Cabe destacar que as noções da AD aqui apresentadas serão fundamentais para o desenvolvimento do dispositivo analítico, embora não apareça de forma intensa na futura análise dos dados. Sobre essa relação da AD com a pesquisa citamos Almeida (2004):

[...]como geralmente acontece, o suporte teórico não entra em cena apenas na análise de informações obtidas com a intenção de se solucionar um problema; as convicções que esse referencial possibilita, direta ou indiretamente, já se fazem presentes na definição desse problema. Por outro lado, a construção de um dispositivo analítico vai além do simples uso do referencial teórico, e está associada à natureza do problema a ser analisado. (ALMEIDA, 2004, p. 44)

Assim, nosso referencial apresentado foi fundamental para o desenvolvimento do dispositivo analítico, apresentado na sequência.

## **2.7. O dispositivo analítico**

Com relação à metodologia de análise, neste projeto optamos por trabalhar sob a perspectiva da Análise de Discurso iniciada na França por Michel Pêcheux, com publicações realizadas no Brasil, principalmente, por Eni Orlandi.

A análise de discurso não busca apenas entender o sentido do que foi produzido, mas, sim compreender como aconteceu essa produção. Com isso, ao olharmos para os discursos produzidos pelos alunos para a leitura do material, cabe não apenas focar nos sentidos, mas sim em como estaria sendo a produção de sentido e como ela pode apresentar indícios da validade da atividade proposta nas condições de produção imediatas. Para isso são analisadas as respostas dos alunos tendo em conta os próprios textos lidos e noções da análise de discurso.

Esse referencial permite que os efeitos de sentidos produzidos sejam compreendidos por nós, e, a partir dessa compreensão, possibilita uma análise do papel da pesquisadora-professora como mediadora em sala de aula.

Outra justificativa para que possamos utilizar neste trabalho a análise de discurso é que, para Orlandi (1996), “A análise de discurso, acredito, não é um nível diferente de análise, quando pensamos níveis como o fonético, o sintático, o semântico. É, antes, um *ponto de vista* diferente.” (p. 116). Então, assumir a análise de discurso é assumir um ponto de vista diferente e, trabalhando com os licenciandos, não queremos

limitá-los e nem aos sentidos que produzem. Nosso objetivo com este projeto é proporcionar-lhes a oportunidade de produzirem sentidos para matérias que, provavelmente, farão parte do contexto escolar em que irão trabalhar.

Destacamos ainda que, pelo referencial adotado, não cabe a nós julgar os sentidos e as atividades propostas pelos alunos apenas como “certas” ou “erradas”. Para a análise de discurso os sentidos podem ser diferentes para diferentes sujeitos, embora não possam ser quaisquer uns.

Na análise de discurso, com base em Orlandi (1994), forma e conteúdo não se separam. Assim, queremos enfatizar que na análise das produções consideramos a importância da física envolvida e a forma como será trabalhada, o tipo de discurso, possivelmente tornando a atividade ainda mais relevante para a formação dos futuros professores.

### **3. A energia nuclear em livros didáticos e em textos de divulgação científica**

Apresentamos agora os textos que optamos por trabalhar no desenvolvimento de nossa unidade de ensino, buscando realizar uma discussão sobre alguns elementos que consideramos válidos para responder nossas questões de estudo.

#### **3.1. Os textos extraídos de livros didáticos**

Para a unidade de ensino selecionamos capítulos de três livros didáticos, todos livros do professor e do ano de 2010 e que foram aprovados pelo PNLD/2012. Nossa escolha foi feita, inicialmente pelos livros apresentarem algumas características diferentes que buscamos evidenciar a seguir, quando falamos sobre cada um deles. Pelos livros serem exemplares dos professores, todos eles apresentam ao final um manual do professor, ou caderno de orientações para o professor.

##### **Coleção Física em contextos – volume 3**

A coleção Física em Contextos foi elaborada por quatro autores, Pietrocola, Pogibin, Andrade e Romero e o trecho selecionado pode ser obtido no Anexo I. O volume do qual extraímos o trecho trabalhado é o terceiro da coleção e apresenta como proposta o ensino de eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria.

O livro se refere à ideia de habilidades e competências. Essa noção está sendo utilizada para o balizamento de algumas políticas curriculares brasileiras, como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), entretanto caracterizar tais noções ainda é uma atividade complexa. Segundo Perrenound (1999), a competência pode ser entendida como:

Uma capacidade de agir eficazmente em um determinado tipo de situação, apoiada em conhecimentos, mas sem limitar-se a eles. Para enfrentar uma situação da melhor maneira possível, deve-se, via de regra, pôr em ação e em sinergia vários recursos cognitivos complementares, entre os quais estão os conhecimentos. (PERRENOUND, 1999, p. 7).

As habilidades são aceitas como o imediato “saber fazer”, partindo do uso das competências adquiridas. Assim, a ideia de competência e habilidade busca proporcionar aos alunos desafios no processo de desenvolvimento das habilidades para que os

estudantes a internalizem como competências e isso possibilite que eles apliquem o conhecimento adquirido em diferentes situações do cotidiano.

Destacamos ainda que o “saber fazer” associado às habilidades não se referem a um saber fazer instrumental e sim um saber fazer que busca aplicar os conhecimentos em diferentes situações além do âmbito escolar.

O trecho extraído desse livro que utilizamos em nossa unidade (Anexo I) consistiu de cinco páginas que se encontram na unidade 3, capítulo 13 – Estrutura da Matéria, e se referiam ao conceito de Fissão nuclear e à produção de energia. Sobre esse capítulo, os autores apresentam uma lista com 25 competências e habilidades que podem ser desenvolvidas, dentre elas, citamos algumas que podemos encontrar indícios no trecho utilizado:

Ler e interpretar informações apresentadas em diferentes linguagens e representações (técnicas).  
 Compreender e emitir juízos próprios sobre notícias relativas à Ciência e à tecnologia e veiculadas pelas diferentes mídias. De forma analítica e crítica, posicionando-se com argumentação clara,  
 Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estrita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de determinada época.  
 Acompanhar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo.  
 Reconhecer que, se de um lado a tecnologia melhora a qualidade de vida do ser humano, de outro ela pode trazer efeitos que precisam ser ponderados para um posicionamento responsável. (PIETROCOLA *et al*, Caderno de orientações para o professor, 2010, p. 79-80)

Consideramos que nossa proposta vai ao encontro das competências e habilidades que os autores esperam serem atingidas com o material, isso por que podemos notar indícios da importância que a leitura de diferentes linguagens tem para eles e para nós que, apesar de termos assumido uma vertente condizente com autores como Soares (2007) e Leite (2013), de que o livro didático é caracterizado como tipo próprio de discurso, não deixamos de reconhecer que em sua composição ele perpassa outros tipos de discursos tornando-o um material rico e que abrange a leitura de diferentes linguagens e representações. Além disso, temos o interesse de motivar e levar os alunos ao conhecimento e compreensão dos fenômenos e do desenvolvimento contínuo da física.

Das páginas selecionadas uma apresentava apenas o texto central, com termos técnicos como fissão e fusão nuclear.

[...]vimos que os átomos de hidrogênio e de outros elementos leves, como o hélio, carbono e oxigênio, se combinam num processo chamado  **fusão nuclear**  e irradiam luz e calor. Nas reações de  **fissão nuclear** , tal como ocorre nas usinas, temos o oposto; em vez de fundir, existe a quebra de átomos mais pesados, formados por muito núcleons. Tanto na fissão como na fusão existe a diminuição da massa do núcleo que é transformada em energia. (PIETROCOLA, *et al*, 2010, p.439)

Podemos inferir que o livro apresenta o conteúdo central do capítulo, nesse trecho satisfazendo o que Choppin (2004) caracteriza como  *função referencial* . Entretanto, chamamos a atenção para diferentes pontos que o aluno já deve conhecer antes de chegar a essa leitura, por exemplo, quando os autores apresentam “elementos leves”, embora cite alguns exemplos, a ideia do que isso significa já deve ser conhecida pelos alunos ou, ao menos a relação entre os elementos químicos. Outro ponto que deve ser de conhecimento é que para se produzir energia deve haver uma perda da massa.

Além dos termos, os autores apresentam as questões relacionadas com a bomba atômica e com os reatores nucleares, e uma declaração feita por Otto Hahn sobre a descoberta da fissão. Aqui podemos notar que os autores buscaram realizar uma contextualização histórica. Tal recurso é apontado por diferentes pesquisadores como importante para o ensino (SILVA, *et al*, 2008; PRESTES, CALDEIRA, 2009; DUARTE, *et al*, 2010, dentre outros) e tem ganhado espaço nos livros didáticos, possivelmente pelos critérios de eliminação dos editais do PNLD. Na versão relacionada ao PNLD 2012 podemos encontrar como critérios que seriam avaliados, na disciplina de física, se a obra:

- (5) utiliza abordagens do processo de construção das teorias físicas, sinalizando modelos de evolução dessas teorias que estejam em consonância com vertentes epistemológicas contemporâneas;
- (17) apresenta os conteúdos conceituais da Física sempre acompanhados, ou partindo de sua necessária contextualização, seja em relação aos seus contextos sócio-cultural-histórico-econômicos de produção, seja em relação a contextos cotidianos em que suas utilizações se façam pertinentes, evitando a utilização de contextualizações artificiais para esses conteúdos. (BRASIL, 2009, p. 39-40)

Assim, o PNLD tem balizado alguns critérios que tendem a tornar os livros didáticos mais homogêneos com relação a alguns elementos.

A segunda página traz duas ilustrações sobre o processo de fissão nuclear e uma esquematizando o funcionamento de uma usina nuclear. A presença das ilustrações também faz parte de um dos itens analisados pelo edital do PNLD, entretanto acreditamos que elas são uma forma mais visual de se apresentar um conceito abstrato, como a divisão de um núcleo em partes menores. Tal proposta pode ser caracterizada como o que Choppin (2004) chama de *função instrumental*, que se refere a metodologias utilizadas para se apresentar os conceitos.

A terceira página apresenta fotos das usinas Angra I e II no Rio de Janeiro/Brasil, embora a maior parte ainda seja de definições e conceituações sobre o funcionamento da usina. O que é uma continuidade da ilustração esquemática apresentada na página anterior. Nesta página também há uma introdução sobre questões tecnológicas e sociais. A página seguinte traz um fechamento do apresentado evidenciando que existem vantagens e riscos para o uso da energia nuclear, e traz uma seção “Por dentro do conceito” que busca explicar o processo de enriquecimento do urânio. Na parte de contextualização social e tecnológica, chamada de *função ideológica e cultural* por Choppin (2004), é possível que os autores busquem levar os estudantes a refletir sobre o assunto criticamente, ou seja, utilizar as informações apresentadas para se aprimorar, modificar ou afirmar concepções, favorecendo o processo de tornarem-se cidadãos ativos com relação a situações tecnológicas e/ou que necessitem de um conhecimento sobre assuntos científicos.

Por fim, a última página selecionada traz a seção “Exercícios resolvidos”. Exigência do PNLD 2012 e também elemento que caracteriza um livro didático. Com relação aos exercícios, apresentamos como proposta de leitura apenas os dois primeiros, entretanto, podemos observar que um deles aborda um conteúdo pouco tratado no capítulo, que foi o acidente de Goiânia com o Césio-137 e ambos necessitam de um conhecimento prévio para sua realização. Os exercícios utilizam, fundamentalmente conceitos de energia mecânica, potência e quantidade de calor, tópicos que, geralmente, são abordados ao longo dos dois primeiros anos do Ensino Médio. Uma possível razão para isso é que cálculos mais específicos relacionados ao conteúdo envolveriam uma matemática mais complexa e, muitas vezes, alheia ao conhecimento adquirido no Ensino Médio

Assim, o trecho sobre Energia nuclear selecionado do livro didático da Coleção Física em Contextos aborda os conceitos de fissão e fusão nuclear, apresentando de forma ilustrativa apenas o processo de fissão e demonstrando esquematicamente o funcionamento de uma usina nuclear. Demais assuntos como o uso em bombas atômicas e os acidentes radioativos que esse material pode causar aparecem de maneira tímida e que necessitam do processo de mediação do professor para suscitar uma discussão que permita o desenvolvimento do pensamento crítico.

A escolha desse livro aconteceu pelo conteúdo que ele apresenta, relacionando o processo de fissão nuclear com questões tecnológicas e sociais, pela estrutura apresentada no trecho que, embora longo e com poucas imagens, poderia se aproximar de livros com os quais os alunos, possivelmente, já teriam tido contato em sua vida escolar e pelas habilidades e competências que os autores apresentavam como possíveis de serem desenvolvidas com o trecho selecionado, as quais julgamos interessantes para o trabalho com futuros professores.

### **Coleção Física para o Ensino Médio – Volume 3**

A coleção Física para o Ensino Médio foi elaborada por dois autores, Yamamoto e Fuke. O volume trabalhado, o terceiro da coleção, apresenta como proposta o ensino de Eletricidade e Física Moderna (Anexo I).

Na apresentação do livro para os estudantes, um ponto chamou a nossa atenção e, devido a ele optamos por utilizar um trecho extraído deste livro em nossa unidade:

A Física tem uma linguagem própria, mas é em muito ajudada pela matemática, que é o instrumento formal de expressão e comunicação para diversas ciências. Assim, você deve encarar as situações em que vai usar fórmulas, equações e gráficos como momentos privilegiados em que é possível “ver” os fenômenos físicos se manifestando por intermédio da linguagem matemática, mais precisa que a linguagem cotidiana. (YAMAMOTO; FUKU, 2010, p.3)

A presença de equações é marcante ao longo do livro didático, não apenas nos exercícios resolvidos, ou a serem resolvidos, mas também ao longo do texto central,

que, aparentemente, visava explicar a parte conceitual. Chamamos a atenção aqui para a diferença que pode haver, mesmo dentro do que é considerado um mesmo tipo de discurso. Destacamos, entretanto, que, embora física e matemática se aproximem em determinadas situações, é importante conhecer os alunos com quem o livro didático será trabalhado. Algumas vezes, os alunos podem apresentar dificuldades com relação à matemática o que pode resultar em um mau desempenho em física. A física consiste de considerações sobre o mundo e, compreender seus fenômenos é tão, ou mais importante quanto saber realizar os cálculos que a cercam.

Segundo os autores “Buscou-se contemplar na seleção dos conteúdos e as sequências tradicionalmente abordadas nos livros didáticos como uma característica facilitadora da prática pedagógica, posto que uma parte dos professores aprendeu Física através de sequências semelhantes”. (YAMAMOTO; FUKU, Manual do professor, 2010, p.31). A opção dos autores reforça ideias como a de Leite (2013) que enfatiza que a forma como o livro é trabalhado no Ensino Superior contribui para a forma como ele será utilizado na sua prática docente, o que pode ser ampliado, sendo válido para o conteúdo, uma vez que, apoiando-nos na análise do discurso, pelo interdiscurso, mesmo que inconscientemente, buscamos sempre um “já-tido”.

O trecho selecionado para nossa unidade de ensino, foi constituído de sete páginas do capítulo 19, intitulado “Física Nuclear”. O capítulo começa apresentando uma imagem de Los Alamos, quando a bomba atômica foi testada, tendo resultado positivo. Na descrição da imagem, os autores apontam que, desde esse teste, em 1945, mais de 2000 outros foram feitos envolvendo reações nucleares. Possivelmente, esse indicativo é apresentado com o objetivo de aguçar o interesse e a curiosidade dos estudantes, visto que, ao falar em “bomba” muitos alunos já demonstram um interesse maior no assunto e, quando se apresenta indicativos de que uma grande quantidade de testes foram desenvolvidos, além de buscar uma contextualização histórica busca-se o interesse.

Na primeira página, temos então a imagem de uma explosão, acompanhada apenas do texto central. Uma curiosidade nesse texto é que, no início, os autores trazem:

Existe sentido em julgar uma pesquisa como “boa” ou “ruim”? Parece que não. A ciência não deve ser passível de juízo de valores. O modo como é aplicado o conhecimento científico depende dos seres humanos. À ciência cabe sempre – e apenas – ampliar a compreensão sobre o universo onde vivemos. É com

essa reflexão que começamos o estudo da Física Nuclear. (YAMAMOTO, FUKU, 2010, p. 260)

Quando falamos de Física Nuclear, é comum encontrarmos em divulgações que chegam até nós por diversas fontes, diariamente, questões que podem ser assustadoras ou esperançosas. Os autores, ao começarem o texto dessa maneira, possivelmente, buscam possibilitar uma abertura para se discutir questões conhecidas pelos alunos sobre o tema. Pensando na dicotomia entre a pesquisa ser “boa” ou “ruim”, na relação entre a ciência e seu uso e na imagem da bomba atômica projetada ao lado do texto. Essa remissão a elementos reflexivos pode se relacionar ao que Choppin (2004) chama de função documental. Para esse autor, uma das funções do livro é colaborar para um desenvolvimento crítico do aluno e tais reflexões podem ser abordadas em sala, favorecendo o processo. Podemos nos questionar se os autores optaram por não trazer elementos históricos como a relação de Oppenheimer e o lançamento da bomba atômica. Como já descrito, o livro apresenta como função instrumental elementos matemáticos, sendo marcado por equações e gráficos, sendo imagens e representações extremamente raras no trecho selecionado, o que apenas reforça o fato de haver diferentes características para um chamado mesmo tipo de discurso.

O elemento histórico perpassa o livro como objeto central, entretanto a história não é o ponto forte do material. A remissão a esse tópico era esperada, visto que, como já apresentado, constitui um dos elementos avaliados no PNLD. Ainda nessa primeira página há uma contextualização histórica do desenvolvimento do conhecimento sobre o átomo desde 1808 com Dalton até a década de 1950, após o lançamento das bombas. É essa contextualização que permite aos autores apresentarem toda a teoria proposta.

Na segunda página, temos alguns valores numéricos e representações utilizadas quando se trata de elementos químicos, também temos uma tabela apresentando os isótopos do carbono. Notamos que, não apenas elementos matemáticos aparecem fortemente ao longo do texto, questões envolvendo conhecimentos de química também o cercam nesse tópico. Apesar disso, os autores retomam o significado dos elementos utilizados, possivelmente buscando auxiliar no entendimento dos alunos.

A página seguinte apresenta uma outra tabela as partículas que eram conhecidas até 1950 e, comentam que elas continuaram a serem descobertas, sendo hoje um número mais elevado. É apresentada ainda, em um box o tema “Detectores de partículas: a câmara de bolhas”. Para apresentar o detector os autores utilizam conceitos que já foram previamente apresentados no livro, fazendo uma correta remissão para que, caso o aluno queira retomar o conteúdo o tenha de fácil acesso. Possivelmente, eles buscam contextualizar o que havia sido apresentado com algo que talvez os alunos já tivessem ouvido falar como é o caso do LHC (*Large Hadron Collider*), que foi amplamente divulgado em meios de comunicação.

A quarta página traz algumas expressões químicas para explicar a emissão alfa, e também uma breve história da descoberta do polônio por Pierre e Marie Curie. Mas, o que nos chamou a atenção foi o destaque dado para a conceituação do termo “radioatividade”, o qual é o único elemento que aparece destacado dentro de um box com fundo colorido. Tal característica é bastante comum de ser observada em livros didáticos, em que os autores apresentam definições em destaque, possibilitando uma fácil localização pelos estudantes e também, indiretamente, evidenciando o que, possivelmente, julgam mais importante.

As duas páginas seguintes são densas de texto, de expressões, equações e gráficos. Nelas são abordados os assuntos de fissão e fusão nuclear. Sobre o processo de fissão, o livro traz uma explicação “A fissão nuclear é o fenômeno no qual um núcleo atômico “pesado” é “quebrado” em duas partes, quando atingido por um nêutron. ” (YAMAMOTO, FUKU, 2010, p. 264). A apresentação do conteúdo, é acompanhada de uma equação, na qual se indica que um átomo de urânio-235 recebe um nêutron e se divide em bário-141, criptônio-92 e três novos nêutrons. A forma como os autores apresentam essa divisão requer uma compreensão físico-química pelos alunos, diferente de uma imagem na qual o processo seria mais simples de se visualizar nesse caso. Destacamos ainda que essa divisão apresentada no livro não é uma regra. Embora seja a divisão mais frequente, não se trata de uma lei. O fato de os autores não explicitarem isso pode ocasionar dúvidas nos alunos. Dito isso, há um comentário sobre as bombas nucleares utilizarem esse processo para obtenção de energia. Sobre o processo de fusão nuclear, são apresentadas novas equações e os autores a relacionam com o processo que ocorre no interior de estrelas.

Por fim, a última página apresenta um box com fotografias de Hideki Yukawa e Cesar Lattes; nesse box é comentado sobre a descoberta da partícula subatômica pión, a qual aparece na tabela, páginas antes.

Assim, a ordem do livro, a abordagem utilizada e o uso recorrente da linguagem matemática apontam características diferentes de outros livros didáticos, o que nos motivou a acrescentá-lo em nossa unidade de ensino.

### **Coleção Quanta física – Volume 3**

A coleção Quanta física é escrita por Kantor, Paoliello Júnior, Menezes, Bonetti, Canato Júnior e Alves. O volume do qual extraímos um trecho também é o terceiro da coleção (Anexo I). Entretanto, convém destacar que o assunto é abordado em vários outros capítulos e que, possivelmente, se a atividade tivesse sido realizada com um desses outros capítulos teríamos resultados diferentes.

Na apresentação do livro os autores enfatizam que a organização da sequência de conteúdos visa favorecer aqueles que buscam o ingresso em universidades, o que fica evidente quando colocam “Finalmente, você vai rever todos esses temas de física, como se desenvolveram ao longo dos últimos quatro séculos, uma síntese importante para quem, no terceiro ano, convive com as preocupações dos exames de ingresso para universidades” (p.3). Segundo os autores, a proposta metodológica do livro busca suporte em três pontos, I) contextos e interdisciplinaridade; II) rede de conhecimento e conteúdos em espiral e; III) desenvolvimento de competências e habilidades.

Sobre a noção de contextos e interdisciplinaridade, os autores evidenciam que um decorre do outro; o estudo por meio de contextos aborda vivências reais do mundo em que o aluno vive e isso envolve “múltiplos conhecimentos, estando cada um ligado, de muitas formas, a outros de diferentes áreas” (MANUAL TEÓRICO-METODOLÓGICO, p.8). Assim os conhecimentos podem se inter-relacionar o que nos leva ao processo de interdisciplinaridade, que, para Japiassú (1976), é caracterizado por um objetivo em comum das disciplinas envolvidas, mas é necessário que haja um nível hierárquico entre elas. Usando as palavras de Veiga-Neto (2010):

O terceiro sistema é o interdisciplinar, caracterizado “pela intensidade das trocas entre os especialistas e pelo grau de integração real das disciplinas, no interior de um projeto específico de pesquisa” (Japiassu, 1976, p.74). Nesse sistema, a “colaboração entre as diversas disciplinas ou entre os setores heterogêneos de uma mesma ciência conduz a interações propriamente ditas, isto é, a uma certa reciprocidade nos intercâmbios, de tal forma que, no final do processo interativo, cada disciplina saia enriquecida” (idem, p.75). As disciplinas originais se situariam num nível comum, porém inferior ao conjunto de saberes que se formaria acima dela, numa “interdisciplina”. (p. 7)

Outra noção trabalhada no livro é a de redes de conhecimento e conteúdos em espiral. A proposta, segundo os autores é que um conteúdo não tenha fim em si mesmo, sendo retomado e amplamente trabalhado em vários pontos da coleção. A ideia da espiral parte de que ele é um círculo passando por lugares parecidos, mas sempre um pouco mais avançado. A última noção na qual os autores se basearam para a elaboração do livro é a de competências e habilidades, já apresentadas quando nos referimos ao livro da coleção Física em Contextos.

Trabalhamos com quatro páginas do capítulo Energia, economia e meio ambiente (Anexo I). A primeira página era composta apenas de um curto texto sobre diferentes tipos de energia e trazendo uma contextualização sobre o avanço da energia nuclear, a segunda página dá continuidade a esse texto e explica, o funcionamento de uma usina, e elementos do material utilizado ( $^{235}\text{U}$ ), bem como descreve o processo de fissão nuclear. Uma representação do processo de fissão é apresentada em seguida em um box intitulado “conexão”. Nesse ponto é possível notar a ideia do conteúdo em espiral. O box também traz informações sobre a bomba de fissão nuclear e a indicação para que se retorne ao capítulo 3, da primeira unidade do livro, que aborda as interações nucleares. O box de “conexão” permite ainda um diálogo com outro momento do mesmo livro, no qual ele apresenta as bombas atômicas e os reatores nucleares. Ainda nessa segunda página o tema radiação é introduzido, apresentando uma relação com o funcionamento das usinas nucleares anteriormente apresentado. A terceira página apresenta imagens de fontes renováveis de energia e discute elementos de cada uma delas. Neste livro é possível observar a forte presença de imagens que são fotografias. A última página conclui o texto e traz mais um box de “conexão” que permite o diálogo com pontos do livro e do conhecimento que os alunos já possuem. A página traz um exercício para resolver.

Podemos perceber que, diferente dos demais livros em que o foco da unidade trabalhado era a energia nuclear, nesse foram abordados diferentes tipos de energia.

Talvez, se pensarmos em um comparativo entre os materiais utilizados, poderíamos dizer que esse trouxe elementos mais superficiais, em relação à física, e que outras unidades do mesmo livro que focassem mais na energia nuclear e/ou na produção de armamentos bélicos como as bombas nucleares poderiam ter sido utilizadas. Entretanto, possibilitar esse contato dos alunos com diferentes tipos de energia, que perpassassem o conteúdo que buscamos apresentar foi uma proposta que visava mostrar a função documental (CHOPPIN, 2004) que o livro didático possui, ou seja, buscávamos trabalhar o desenvolvimento do espírito crítico e ajudar no processo de construção de sujeitos capazes de conhecer outras fontes e elaborar um julgamento próprio para cada uma delas.

Além disso, o trecho selecionado faz parte da última unidade do livro, que se propõe a dialogar com o apresentado anteriormente. Assim, quando os autores trazem a energia nuclear atrelada a outras fontes de energia é possível observar relações de interdisciplinaridade e a noção do conhecimento em espiral. A estrutura proposta pelos autores foi um dos pontos que nos motivou a selecionar um trecho deste livro.

### **3.2. Os textos extraídos de Divulgação Científica**

Vamos apresentar agora as divulgações científicas que optamos por trabalhar com os alunos. Algumas delas serão abordadas de forma concomitante, visto que foram extraídas de uma mesma fonte; isto não implica que elas tenham sido trabalhadas juntas em nossa unidade de ensino.

Os textos selecionados abordam elementos da Energia Nuclear, seja a produção de armamento bélico, o seu uso em equipamentos médicos e consequências de descartes mal realizados ou a produção de energia.

Uma vez que:

Um texto de divulgação científica que é veiculado em revistas como a *Ciência Hoje* ou *Scientific American do Brasil*, por exemplo, é diferente de um texto veiculado numa revista *Galileu* ou *Super Interessante*, porque cada uma dessas publicações tem um interlocutor diferente que deseja atingir. Nas primeiras, um registro mais próximo da ciência, nas segundas, um registro mais próximo do cotidiano das pessoas. (CUNHA, GIORDAN, 2015, p. 72)

Nosso objetivo com a escolha dos textos foi trabalhar com divulgações científicas de diferente circulação e que abordassem temas próximos, não necessariamente iguais.

### **Revista Galileu**

A Revista Galileu é uma publicação da editora globo que, segundo informações extraídas do site da revista, tem como intuito abordar temas como ciência, história, tecnologia, religião, saúde, entre outros. Trabalhamos com um texto extraído da edição de aniversário, de agosto de 2005 (Anexo II). A reportagem que trabalhamos foi escrita pelo jornalista Pablo Nogueira. Na capa da edição, a reportagem que merece destaque é relacionada com a Bomba Atômica e a manchete é “O passado, o presente e o futuro da Bomba Atômica – 60 anos depois de Hiroshima e Nagasaki, analisamos a arma mais destrutiva já criada pelo homem”. O impacto que essa chamada, associada à imagem da bomba explodindo ao fundo pode causar no leitor o que Grillo, Dobranszky e Laplane (2004) apontam como forma de sedução, em busca de motivar o leitor a adquirir o material.

A reportagem começa apresentando como título “Qual o futuro da bomba? O 60º aniversário dos bombardeios no Japão”. A forma como o título é composto pode trazer para o leitor uma sensação que o instigue a continuar a leitura isso porque, quando falamos de aniversário temos a sensação de uma comemoração e, analisando o contexto da época e o resultado dos bombardeios é de se estranhar esse termo. Além disso, a primeira frase da reportagem é associada ao físico Robert Oppenheimer ao constatar o êxito dos testes com bombas atômicas: “Agora eu me tornei a morte, a destruidora de mundos”, mais uma expressão impactante para o leitor. Como proposto na capa, a reportagem se propõe a apresentar pontos relacionados com os arsenais atômicos desde o desenvolvimento da primeira bomba atômica durante a Segunda Guerra mundial até a situação na época em que foi produzida a reportagem em 2005.

Na primeira e segunda página temos um breve resumo de tudo o que será apresentado nas seguintes. Isso é feito com o objetivo de apresentar pontos fundamentais para que o leitor compreenda o assunto que será tratado. Como a DC se destina a diferentes pessoas é importante esse recurso inicial como balizador. É considerado que, possivelmente, muitos leitores possam não ter conhecimento do que aconteceu durante a Segunda Guerra Mundial, ou ainda não entendam a relação da ciência com o desenvolvimento da bomba atômica. Nesse sentido, o autor traz recursos como a questão do descobrimento do nêutron para vincular a ciência ao momento histórico. Porém não descarta o caráter instigador da leitura como podemos observar quando ele traz “A maior parte das pessoas não se dá conta, mas hoje o mundo vive um momento crucial no que

tange às armas atômicas” (NOGUEIRA, 2005, p.30-31). A fala, associada a um diretor de Harvard é conscientemente apresentada nesse momento com o objetivo de instaurar uma dúvida no leitor com relação ao que há por vir. Destacando que as questões atuais são apresentadas apenas nas últimas páginas.

A reportagem parte do passado, trazendo a relação de paz que existia entre os cientistas de diferentes partes do mundo na década de 20 do século passado e, vinculando-se a parte histórica, apresenta brevemente como esse cenário foi sofrendo alterações, até se tornar uma corrida armamentista. A questão mais relacionada à física começa quando o autor apresenta que, em 1938, Otto Hahn e Fritz Stassmann conseguiram fissionar o átomo pela primeira vez e notaram que esse processo liberava grande quantidade de energia. Destacamos, entretanto que não há uma remissão ao que é o processo de fissão ou a como ele libera a energia. Nesse caso, entendemos que a proposta da DC não era abordar a física, mas sim a história do armamento nuclear, entretanto, consideramos que por se tratar de uma informação fundamental para o desenvolvimento da bomba atômica (e do funcionamento dos reatores nucleares) era de se esperar que houvesse uma explicação do fenômeno para o leitor que não o conhece.).

É interessante notar que, na terceira e quarta página, embora ainda não tenha sido feita menção ao Projeto Manhattan, o que só acontece na sétima página da reportagem, imagens relacionadas a ele e minibiografias dos cientistas que participaram do projeto já eram apresentadas de forma desconexa do texto. Talvez o objetivo seja introduzir conhecimento ao leitor, ou apenas uma questão de diagramação da reportagem, uma vez que ao longo de toda a reportagem podemos observar que imagens aparecem antes das informações serem apresentadas no texto. Ainda na quarta página há um infográfico representando o processo pelo qual o urânio passa até se transformar em bomba.

Na sexta página, ainda antes se se falar sobre o Projeto Manhattan e o desenvolvimento das bombas, elas são apresentadas, bem como uma imagem de Hiroshima após seu lançamento. A página apresenta então um esquema do funcionamento das duas bombas produzidas e utilizadas sobre o Japão – a Fat Man e a Little Boy. Com relação ao funcionamento físico das bombas, consideramos que a reportagem não traz recursos suficientes para o leitor, de fato, compreender o acontecimento, recaindo no que Zanotelo e Almeida (2013) notaram, que os textos de DC procuram, muitas vezes, evitar

a linguagem matemática e conseqüentemente, evitam algumas explicações que se fazem necessárias ao longo do texto. Também nos remete a Almeida e Ricon (1993) que enfatizam que nesse tipo de texto há “[...]perda do rigor científico e a falta de aprofundamento em detalhes específicos é, muitas vezes, compensada pela abrangência e visão global com que determinados temas são abordados” (p.8). A observação de Almeida e Ricon (1993) é muito pertinente a essa reportagem, uma vez que o autor opta por realizar uma varredura de 60 anos e, com isso não há abertura para aprofundamentos.

Na oitava página temos uma entrevista com Takashi Morita, presidente da Associação das Vítimas da Bomba Atômica no Brasil. E assim a reportagem fecha sua explanação sobre o passado

Com relação ao presente, a reportagem apresenta os arsenais nucleares que oito países possuem – EUA, Inglaterra, França, Israel, Rússia, China, Paquistão e Índia. E comenta que, após a guerra e durante essas seis décadas houve uma mobilização internacional contra a proliferação nuclear, o que justifica poucos países terem, de forma reconhecida pela sociedade, armamentos nucleares.

Para o futuro, o autor diz que, até os dias atuais foi possível manter um controle sobre o uso do arsenal nuclear. Entretanto, aponta que o controle internacional sobre a proliferação de armas nucleares tem diminuído o que pode causar uma instabilidade e permitir que o arsenal passe a ser utilizado.

Quanto à estrutura do texto, a revista é totalmente colorida, e como dito, apresenta vários boxes com informações extras ao texto, como as biografias dos cientistas, fotografias desses cientistas, do primeiro protótipo testado no Novo México, de Hiroshima após o lançamento da bomba, representações do funcionamento do artefato e da distribuição do potencial nuclear pelo mundo. É apresentada também uma linha do tempo na parte inferior da página que perpassa todas as páginas que abordam o passado da bomba; esta linha se inicia em fevereiro de 1932 com o fato de James Chadwick demonstrar a existência do nêutron e vai até agosto de 1945 com o lançamento das bombas.

A linguagem em que o texto é apresentado se aproxima da cotidiana e seu foco é contar a história do acontecimento e como a Energia Nuclear está presente nos nossos dias e pode afetar nosso futuro. Sobre a Little Boy, é apresentada uma

representação e o seguinte dizer “A detonação do explosivo une as duas massas de urânio, que formam uma massa supercrítica, e a reação em cadeia se origina. ” (NOGUEIRA, 2005, p.35). Já com relação a Fat Man, também temos uma representação e os dizeres “Uma esfera de plutônio fica no centro de uma esfera vazia cercada por explosivos. 32 detonações sincronizadas geram pressão sobre o plutônio, que aumenta sua densidade e atinge a supercriticalidade, e o iniciador dá origem à reação em cadeia. ” (NOGUEIRA, 2005, p.35), o que evidencia que a explicação dos fenômenos físicos não era um dos objetivos do autor, embora seja necessário constar no material.

Outra característica presente no texto é a frequente referência a outros discursos, por exemplo, a presença de dizeres de Graham Alisson, diretor de um centro de pesquisas de relações internacionais de Harvard, como aponta a revista. Isso acontece com frequência pois esses elementos trazem uma validação do que está sendo dito. Enfatizam que não é o jornalista quem está apresentando uma informação impactante, mas sim alguém de dentro da área. Entretanto, sobre isso, Zamboni (2001, p.56) destaca que essas “falas” apresentadas, muitas vezes já apresentam um viés de DC, não condizendo de fato com o discurso científico. Segundo a autora:

Tem-se a impressão de que foi efetuada nesses textos uma divisão do trabalho que operou da seguinte maneira: para o jornalista-divulgador ficou a tarefa de desentranhar o núcleo do discurso científico de seu invólucro de hermetismo; para o cientista-divulgador (porque na entrevista ele já é um divulgador) ficou a incumbência de avaliar as “cercanias” do fato científico relatado suas repercussões, seus resultados, suas consequências. (ZAMBONI, 2001, p.57)

Assim, nossa escolha por trabalhar com essa edição da Revista Galileu se deu pela linguagem em que ela foi escrita, por se tratar de um recurso que pode ser encontrado em bancas de revista, podendo ser adquirido por qualquer pessoa. Além disso, o tema abordado por ela vai ao encontro do assunto que estávamos abordando e permitia uma reflexão sobre o uso da Energia nuclear em equipamentos bélicos, assunto que não aparece de forma enfática nos demais textos.

## **Revista Ciência Hoje**

A Revista Ciência Hoje, segundo o site da revista, tem como missão divulgar a ciência e assim contribuir para o desenvolvimento do Brasil. Além disso, a apresentação diz que a revista leva em conta o rigor acadêmico e a adequação da linguagem para promover informação acessível a diferentes públicos. Optamos por trabalhar três textos extraídos do suplemento vol.7, nº 40, de março de 1988. Os textos escolhidos foram “É preciso não esquecer Goiânia”, “Aprendiz de Feiticeiro” e “Em busca do Césio” (Anexo II), sendo que apenas o último texto apresenta Lipsztein e Ramalho como autoras, o primeiro se refere aos editores e no segundo nada consta.

A estrutura “artística” da revista é simples, com desenhos no estilo feito à mão que remetem, na maioria dos casos, a pessoas. A capa apresenta um desses desenhos, que se repete no interior da revista, e o título “Autos de Goiânia”. Não há manchetes ou elementos atrativos, se trata apenas de textos corridos que se aproximam bastante da estrutura de artigos. Possivelmente, embora a revista expresse seu interesse em divulgar a ciência para diferentes públicos, ela não é facilmente encontrada em bancas de revista ou outros meios. Leitores que buscam a Ciência Hoje são aqueles que já a conhecem e, portanto, um público que não necessita, como Grillo, Dobranszky e Laplane (2004) apontam, ser seduzido para adquirir a revista.

Os textos que optamos por trabalhar foram apresentados na ordem em que aparecem no volume da revista. O primeiro, busca fazer um panorama geral da situação, enfatizando que a população deveria ter mais informações sobre o que eram os elementos radioativos e sobre o que estava acontecendo em Goiânia. Embora a característica da revista não seja a de seduzir o leitor, podemos observar nesse texto introdutório que os editores buscam levantar alguns questionamentos instigantes para o leitor que serão respondidos apenas com a leitura dos demais textos que a compõem. O texto traz ainda questões como o descaso com esse tipo de material e com o tratamento dado para a situação que se instaurou em Goiânia após o incidente com o Césio-137. De forma mais detalhada, o texto começa com um questionamento “Que fazia uma bomba de césio-137 num hospital abandonado, semidestruído, em Goiânia, no dia 13 de setembro de 1987?” (CANDOTTI *et al*, 1988, p.3), em seguida um ponto controverso, os editores afirmam que a bomba foi roubada do hospital. O termo é complicado, uma vez que ele estava desativado e haviam apenas destroços, o que motivou sucateiros, na fala do autor, hoje

chamados pela Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), catadores de materiais reciclados (Código 5192 - 05 Catador de material reciclável)<sup>3</sup>, a adentrarem em busca de recurso que poderiam ser vendidos (CRUZ e GLICKMAN, 1997, CHAVES, 2007), entretanto, mais à frente do texto os autores apontam que “as responsabilidades principais pelo crime de Goiânia – seja da bomba ou da desinformação – são do governo. ” (CANDOTTI *et al*, 1988, p.3). Ainda com relação a instigar o leitor podemos encontrar várias outras perguntas:

Por que não se criou imediatamente uma comissão competente – idônea, insuspeita – para dirigir os trabalhos e informar responsabilmente a população? [...] onde estão os planos de emergência em caso de acidente em Angra? [...] Centenas de bombas permanecem sem controle – não se sabe se funcionam ou onde estão (em hospitais? Em ferro-velhos?). (CANDOTTI *et al*, 1988, p.3)

O segundo texto busca contar um pouco da história do que aconteceu em Goiânia, onde uma bomba (nomenclatura utilizada no texto, mas que, na maioria das vezes se refere a uma cápsula) de Césio-137 foi retirada dos escombros de onde, anteriormente era o Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) por dois sucateiros (catadores de materiais recicláveis). Entretanto, talvez por ser uma publicação da época do acidente e faltarem informações, não é claramente enunciado o que, de fato, aconteceu. O Césio-137 era luminescente, o que atraía a atenção e curiosidade de muitas pessoas que não sabiam do que se tratava, algumas o passaram no corpo, outras a ingeriram. A situação só se tornou publicamente aceita como ocasionada pela radiação, cerca de 15 dias após o primeiro contato com a bomba, o que indica que a população não tinha conhecimento. Segundo o texto, “O saldo dessa experiência foi a morte de quatro pessoas, a amputação do braço de outra e a contaminação, em maior ou menor grau, de mais de 200. ” (CANDOTTI *et al*, 1988, p.4). O texto apresenta também como foram os dias após a tomada de conhecimento do caso, em que muitos médicos estrangeiros vieram para o Brasil ajudar e um inquérito policial foi aberto, buscando compreender como aquela bomba de Césio-137, como indicam os autores, havia sido deixada para trás em meio aos escombros. Segundo Vieira (2013), o processo do acidente aconteceu quando, em 1984, a Santa Casa de Misericórdia vendeu seu terreno para o Instituto de Previdência e

---

<sup>3</sup> <https://www.ocupacoes.com.br/cbo-mte/519205-catador-de-material-reciclavel>

Assistência do Estado de Goiás (Ipasgo) antes que fosse efetivada a ação de despejo dos antigos locatários, com isso as atividades do Instituto Goiano de Radiologia (IGR) foram encerradas e seus equipamentos deixados para trás. Após processos judiciais, apenas em 1987 a Ipasgo começou a demolição do prédio adquirido. Entretanto, por conta de uma liminar da justiça foi obrigada a parar. Cabe destacar que durante esses três anos, a cápsula de Césio não passou por nenhuma fiscalização por parte da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). O texto trabalhado também comentava como estava a situação das pessoas que foram vítimas do contato com o Césio-137 ou que tiveram suas moradias contaminadas e da economia de Goiânia seis meses após o acidente.

Por fim, o terceiro texto que escolhemos para trabalhar aborda a situação de saúde das pessoas. Ele traz a diferença entre aqueles que foram irradiados, e aqueles que foram contaminados externamente (na pele) ou internamente (por meio da ingestão de alimentos contaminados). O texto explica que essa diferenciação é medida com base na disometria citogenética, procedimento cuja explicação do seu processo se encontra em outro artigo da revista, o qual não foi utilizado na unidade de ensino. Por fim, o texto apresenta e explica os procedimentos para descontaminar essas pessoas e enfatiza que, quando liberadas elas poderiam ser reintegradas à sociedade sem que houvesse

A escolha desses textos foi por apresentarem efeitos da radiação, que pode ser liberada durante a produção de energia nuclear. Além disso, por se tratar de um acidente que aconteceu no Brasil, acreditamos que poderia facilitar a discussão do assunto em sala de aula. Sua linguagem, que se aproxima da cotidiana, conta com alguns elementos científicos, como unidades de medida, por exemplo, no trecho “A atividade mínima detectável para o  $^{137}\text{Cs}$ , a um nível de confiança de 95%, é da ordem de 9,3 kBq (0,250 mCi) ” (LIPSZTEIN; RAMALHO, 1988, p.28). Assim, o texto traz uma linguagem um pouco mais próxima da que os estudantes encontram na graduação, ou seja, uma linguagem mais matemática, por isso acreditamos que poderia ser interessante a leitura por parte de alguns alunos.

### **Revista USP**

A Revista USP tem como foco, segundo seu site, publicar artigos sobre Ciência, Humanidades e Cultura. Desta revista optamos por trabalhar com dois artigos,

da edição catástrofes, publicada em 2011. O primeiro “O futuro da energia nuclear”, de José Goldemberg e o segundo “Energia Nuclear” de Mahir S. Hussein (Anexo II). Os textos dessa revista apresentam algumas características semelhantes às dos artigos científicos. Por exemplo, trazem, no início do texto, resumo, palavras-chave e abstract.

O primeiro texto que selecionamos dessa revista retoma alguns acontecimentos nucleares desde 1965, contando, por exemplo, que entre 1965 e 1990 tivemos a “era de ouro” da energia nuclear, em que cerca de 30 reatores nucleares entraram em operação por ano, a nível mundial. Seguindo, o autor comenta sobre alguns acidentes e apresenta uma síntese do acontecimento. O texto conta com dois gráficos, recurso amplamente utilizado em textos de DC, entretanto a forma como ele é apresentado se aproxima do seu uso em artigos científicos, uma vez que seu conteúdo se relaciona com o texto, mas não há uma ligação explícita com o texto em que seu conteúdo é explicado e, portanto, requer um conhecimento sobre o assunto por parte do seu leitor. Em alguns momentos o autor evidencia ainda mais que espera que seu público leitor tenha um conhecimento. Por exemplo, ao se referir ao acidente com o reator nuclear ocorrido no Japão por conta do *tsunami* em 2011, ele coloca:

Os fatos resultantes desses eventos são bem conhecidos: a perda de refrigeração nos reatores e nas piscinas onde os elementos combustíveis (altamente radioativos) fundiram e lançaram grande quantidade de radioatividade no ar e no mar. (GOLDEMBERG, 2011, p. 11)

Assim, embora ele apresente um acontecimento requer que o leitor conheça o acontecido para poder compreender de forma mais clara o que o autor quis dizer. Outra característica é que, a forma como o texto é apresentado permite que o leitor tenha indícios de uma possível posição do autor com relação ao uso da energia nuclear.

De forma geral, as cinco primeiras páginas da DC apresentam acontecimentos históricos e dados numéricos sobre a Energia Nuclear e seus reatores. A partir dessa página o autor começa a explicar o processo de produção de energia elétrica através do Urânio, recorrendo ao uso de uma figura, além disso, e coloca o Brasil como potência nesse aspecto por conta da grande reserva de Urânio que possui. Entretanto, embora o país tenha o reserva e conheça as formas de se enriquecer esse elemento químico, o autor aponta que ele ainda é enviado para outros países para passar por esse processo, uma vez que investir na tecnologia necessária é caro. Segundo o autor:

O Brasil domina a tecnologia o ciclo do combustível, inclusive a principal fase, que é o enriquecimento. A primeira fase da unidade de enriquecimento, de Resende, cuja conclusão é prevista para breve, deverá suprir 60% do combustível consumido nas usinas de Angra I e II. Contudo, o enriquecimento do urânio exige instalações consideráveis, cujo custo de capital é de cerca de 1 bilhão de dólares. Uma carga típica de reator como o de Angra II custa cerca de 10 milhões de dólares no mercado internacional. É por essa razão que, para se justificar a construção de uma unidade de enriquecimento, que custa 1 bilhão de dólares, seriam necessários pelo menos dez reatores nucleares em funcionamento. Caso contrário, valeria mais a pena comprar o urânio enriquecido no mercado internacional, onde a capacidade de enriquecimento supera o consumo atual no mundo, havendo, portanto, capacidade ociosa. (GOLDEMBERG, 2011, p. 14)

Para explicar o processo de fissão nuclear o autor apresenta duas figuras, uma representando o processo de fissão propriamente e outra o de reação em cadeia. A explicação das figuras é feita em apenas um parágrafo e se relaciona com um apêndice.

Com relação ao conteúdo do texto, destacamos que o autor também apresenta algumas informações sobre os reatores nucleares, como quantidade de reatores em operação até 2005, o período em que se teve maior número de construções e quais estavam em construção até 2010. Paralelamente, ele contextualiza a energia nuclear no Brasil.

O segundo texto não apresenta nenhuma figura, gráfico ou elementos que, num primeiro momento atraiam a curiosidade do leitor, consiste apenas de um texto corrido, porém sua linguagem torna a leitura simples e acessível.

O texto começa com uma série de questionamentos que instigam o leitor a continuar lendo em busca de respostas, entretanto a escrita pode parecer confusa para um leitor que não conheça um pouco sobre o assunto. O texto busca explicar o que é energia nuclear, trazendo conceitos de energia, fissão e fusão nuclear, sempre esclarecendo o que são esses termos, apresenta o urânio e porque ele é um elemento utilizado na obtenção desse tipo de energia, adentrando a questões como a estrutura do núcleo, isótopos dos elementos e a presença dele na Terra.

Um ponto importante de se destacar é que essa DC é escrita por cientistas e publicada com o nome de uma universidade pública e essa relação entre esses personagens e o texto fica evidente em suposições que podem ser comuns dentro da academia, mas que podem não fazer parte da realidade de todos os leitores, Por exemplo, o autor apresenta a equação  $E = mc^2$ , o que não é um recurso usual de DCs e, buscando possivelmente suavizar o impacto que uma equação pode ter na leitura a descreve ludicamente como “formula mágica” e, continuando a falar sobre ela coloca:

A partir dessa equação se imagina a transformação de uma quantidade mesmo pequena de massa  $m$  em uma quantidade enorme de energia. Para dar um exemplo, considere uma massa de 1 grama que, por algum mecanismo se transforma em energia. Usando a fórmula de Einstein se deduz que 1 grama de matéria poderia produzir 90 milhões de megawatts de potência de energia[...]. (HUSSEIN, 2011, p. 60)

Notamos que não há uma explicação de como se chega a esse valor e expressões como “se imagina” e “se deduz” evidenciam que o leitor virtual idealizado pelo autor é alguém que compreende essas passagens minimamente, ou o autor supôs que não seria importante para o leitor saber detalhes do cálculo e sim conhecer a imensa quantidade de energia que a equação possibilita. Além disso, em diversos pontos do texto o autor recorre a recursos como o uso de ênfase nas expressões como se estivesse buscando uma aproximação com o leitor, em outras aborda o assunto, que é complexo, tentando destacar que ele é simples.

O texto traz ainda, a importância de se avaliar a segurança das usinas nucleares, em busca de prevenção de acidentes, dentre os quais cita a importância de se instalar um sistema de alerta no Rio de Janeiro para a população ser rapidamente avisada de algum problema com as usinas de Angra dos Reis. Apresenta brevemente a Agência Internacional de Energia Atômica e conta um caso em que a própria natureza foi capaz de produzir um reator nuclear na África, o que possivelmente chama a atenção do leitor. Para relatar esse acontecido, novamente o autor recorre a um termo específico, a *massa crítica* que não é explicado a que se refere e nem a sua importância.

De forma geral, temos que esses textos abordam temas de Energia Nuclear de forma a apresentar elementos que motivem o leitor a buscar o conhecimento e, embora apresente algumas características de artigos científicos, a proposta da revista de atuar como DC é basicamente atendida na linguagem e na forma como o conteúdo é apresentado.

### **Livro Energia Nuclear**

Além das revistas, contamos, em nossa unidade de ensino, com um trecho extraído de um livro de divulgação científica (DC), escrito por Fernando Portela, com consultoria de Rubens Lichtenthaler Filho (Anexo II). O livro, publicado em 2000 foi distribuído em escolas para ser trabalhado com os alunos, o que insere a ele uma

característica de um livro paradidático, mas que, aqui, consideramos como uma Divulgação Científica que circula em meio escolar.

O livro conta a história de uma família que mora em Recife e recebe uma carta de um primo que morava em Goiânia falando que passaria alguns dias com a família, o problema é que essa situação se passa no período em que o acidente com o Césio -137 de Goiânia era noticiado em todo o país. Diante disso, a família entra em conflito, por um lado, tinham medo, por outro, não sabiam como pedir ao primo para não ir visitá-los. Assim, partem em busca de compreender o que é a radiação e como ela pode ser retirada do ambiente.

O livro possui dois pontos intercalados, primeiro a história que, apesar de não ter muitas ilustrações, não apresenta terminologias físicas, mas busca esclarecer o que é a radiação, numa linguagem próxima à cotidiana. Essa parte do livro se aproxima do que pode ser chamado de livro paradidático, ou seja, um DC destinada diretamente para o ambiente e público escolar, o que justifica a linguagem empregada.

O segundo momento do texto trata de uma DC com características que visam apresentar conceitos, como a *meia-vida* do elemento, sempre conceituando os termos “O tempo que leva para a quantidade de radiação emitida diminuir à metade do seu valor inicial é chamado **meia-vida** e depende do elemento radioativo. ” (PORTELA, LICHTENTHÄLER FILHO, 2000, p.16). Outras questões como o que são elementos radioativos, partículas alfa, beta, nêutrons, raio-X e raio gama, também merecem destaque. Apresenta algumas aplicações para a radioatividade como os mísseis nucleares, e equipamentos médicos apresentados na forma de imagens e discute questões de segurança dos aparelhos, em busca de prevenir novos acidentes como o de Goiânia.

Essa parte do livro é carregada de imagens, representações e ilustrações que se relacionam com o texto ou buscam apresentar alguns elementos como por exemplo, uma representação de um átomo e da capacidade de penetração dos raios alfa, beta e gama. Imagens do processo de preparação do urânio e de possíveis aplicações que a energia nuclear pode ter. Além disso, traz diversas imagens do contador Geiger, aparelho que é muito citado quando se fala de radiação, mas desconhecido para grande parte da população.

A escolha desse material se deu por complementar as discussões que poderiam acontecer sobre a radiação. Nossa intenção era que, por ter uma linguagem próxima à do cotidiano e uma estrutura que se aproxima da literária, o texto motivasse os alunos a participar da atividade. Gostaríamos também de apresentar discursos como esse para que os alunos pudessem pensar sobre seu uso em sala de aula.

#### **4. Condições de produção do estudo com os licenciandos em Física**

A pesquisa aqui apresentada foi realizada em seis aulas, durante três semanas, as aulas eram de 60 minutos cada, em uma universidade pública do Estado de São Paulo e ocorreram na disciplina “Conhecimento em Física Escolar I” a partir da segunda metade do mês de maio de 2017. Entretanto, a pesquisadora-professora (utilizaremos esse termo como forma de enfatizar que a pesquisadora, embora seja professora, não era a responsável direta pela sala em que desenvolveu o estudo) acompanhou a disciplina desde o começo de março. Cabe assinalar que a proposta desenvolvida aqui era coerente com a ementa da disciplina em questão, não havendo prejuízo didático, previsível, para os alunos.

Essa disciplina foi oferecida para alunos ingressantes do curso de Licenciatura em Física do período noturno no primeiro semestre de 2017. Sua ementa apresentava o seguinte texto: “Análise de questões específicas do ensino da física e de campos e conhecimentos envolvidos em propostas de solução para essas questões”. Os alunos, e sujeitos dessa pesquisa, foram 46 ingressantes no curso de Licenciatura em Física, com diferentes faixas etárias e que, em sua maioria, estavam realizando a sua primeira graduação e parte significativa (25 alunos) exercia atividade remunerada dentro ou fora da universidade. A turma era constituída por oito mulheres e 38 homens. Embora não consideremos que essa característica seja relevante para a pesquisa, ela evidencia uma condição de produção do ambiente em que nos encontrávamos e é própria do curso de Licenciatura em Física, o que nos dá uma visão mais ampla do nosso público.

##### **4.1 Participação preliminar em sala de aula**

A pesquisadora-professora acompanhou nove aulas antes de desenvolver sua unidade de ensino. Acreditamos que apresentar alguns elementos que foram discutidos nessas aulas seja fundamental para compreender a participação posterior dos alunos.

Na primeira aula, a proposta foi que os licenciandos, em grupos de cinco ou seis pessoas analisassem algumas coleções de livros didáticos tendo como base um roteiro pré-estabelecido pelo professor da turma. O roteiro era composto pelos seguintes tópicos: conteúdo, textos e imagens, atividades, experimentação, cotidiano, história da ciência, integração com outras áreas, e pontos positivos e negativos.

A segunda aula acompanhada pela pesquisadora-professora deu continuidade à atividade com livros didáticos, nela o professor responsável realizou uma apresentação sobre o assunto. Para essa aula havia sido proposta a leitura de um texto. Alguns alunos elaboraram diversas questões relacionadas com a apresentação e com esse texto, algumas questões versavam sobre mapas mentais, mudança conceitual, concepções prévias e concepções alternativas. Houve um longo período de discussão no qual alguns alunos, aparentemente, estavam bem interessados no assunto.

Na terceira e quarta aula foram abordadas questões sobre o construtivismo. A terceira foi ministrada pelo aluno de doutorado que acompanhava a disciplina realizando o Programa de Estágio Docente (PED). Assim como na aula anterior, os alunos participaram bastante fazendo questões e debatendo o assunto. Na quarta o professor responsável fez uma apresentação sobre o tema e os alunos desenvolveram uma atividade sobre concepções alternativas.

A quinta aula abordou a experimentação no ensino de física. Nessa atividade os alunos puderam manipular alguns aparatos e pensar em sua prática.

As duas aulas seguintes foram ministradas pelo aluno de PED e abordaram o ensino não-formal. Na primeira das aulas os alunos poderiam efetuar a leitura de um texto e realizar uma atividade em grupo. Entretanto, a atividade poderia ser realizada sem a leitura e foi possível observar que a maioria dos grupos assim o fez. A outra aula contou com a apresentação de um vídeo sobre o projeto “Ribeirão Anhumas na Escola” e uma discussão sobre o assunto. Nessa aula, os alunos foram convidados a elaborar uma proposta de atividade interdisciplinar com relação ao ambiente.

Na oitava aula, os alunos se dirigiram ao laboratório de informática, onde o professor responsável apresentou alguns sites de simulação para o ensino de física. O assunto se prolongou até a aula seguinte, na qual a pesquisadora-professora apresentou sites de laboratório remoto<sup>4</sup> para o ensino, na qual a proposta é que o aluno tenha contato com diversos experimentos de forma remota, ou seja, existem em alguns laboratórios experimentos que ficam montados e os estudantes conseguem por meio da internet controlar algumas variáveis e analisar alguns dados. Como fechamento, foi realizada uma

---

<sup>4</sup> <https://www.lte.ib.unicamp.br/portal/experiments.php>  
<https://rexlabs.ufsc.br/>

discussão sobre os usos e possibilidades de uso desses recursos no ensino e sobre como a tecnologia tem se aproximado do ambiente escolar.

#### **4.2 A pesquisadora como professora**

Durante as aulas ministradas pela pesquisadora-professora, que foram gravadas em áudio, é importante destacar que o professor responsável pela turma e o aluno de pós-graduação que realizava o PED estiveram sempre presentes. Além disso, mesmo os alunos que não assinaram o termo de consentimento, não aceitando que suas produções fossem analisadas, deveriam participar e entregar as atividades. Por isso, apesar do grupo que frequentou as aulas ter sido formado por 46 integrantes, não foram todos que concordaram em colaborar com a pesquisa. Contamos com o aceite de 24 alunos. Destes, nem todos participaram de todas as aulas. Assim, vamos caracterizar aqui aqueles que responderam ao questionário inicial, aplicado na primeira aula ministrada pela pesquisadora-professora. Tivemos, nesse dia a participação de vinte alunos, sendo que quinze nunca haviam ingressado em um curso de graduação, três já haviam, mas não o tinham concluído e dois alunos possuíam diploma, um era licenciado em matemática e outro em pedagogia. Sobre o alto índice de recusa em participar da pesquisa, levantamos algumas possibilidades, dentre elas, a necessidade de fornecer dados pessoais ou o fato de se tratar de uma pesquisa que envolvia leitura e, pela necessidade de explicarmos antes do início das atividades, pode ter afugentado alguns alunos.

Podemos concluir que nossos sujeitos eram formados em sua maioria por alunos em busca do primeiro diploma de graduação e que exerciam algum tipo de atividade em outro horário.

Com relação à avaliação, as atividades realizadas em sala de aula não seriam computadas na nota final da disciplina, entretanto, elementos relacionados às discussões realizadas durante as aulas fariam parte da avaliação final.

Na primeira aula referente à pesquisa, os alunos receberam o termo de consentimento e a explicação sobre o projeto. Em seguida, foram convidados a responder um questionário inicial (Apêndice I), o qual versava sobre questões pessoais e sobre alguns recursos pedagógicos que podem e são utilizados no ensino de física. Após essa atividade, todos os alunos fizeram a leitura de um texto formado por um compilado de

trechos extraídos de três diferentes livros didáticos (Anexo I), Quanta física (KANTOR, et al, 2010), Física para o Ensino Médio (YAMAMOTO e FUKU, 2010), e Física em contextos – Pessoal, social e histórico (PIETROCOLA et al, 2010), todos da edição de 2010 aprovados no PNLD 2012. Os alunos realizaram a leitura de um total de 16 páginas e, partindo dessa leitura, foram convidados a responder um questionário (Apêndice II) sobre seus hábitos de leitura, sobre sua relação com o material oferecido e também sobre os sentidos por eles produzidos para a leitura dos temas relacionados com a Energia Nuclear. Por conta do tempo disponível para a leitura do material e para responderem aos questionários, alguns alunos solicitaram que a entrega do questionário referente à leitura do livro didático fosse feita na semana seguinte.

Na aula seguinte, a pesquisadora-professora começou por recolher os questionários referentes à aula anterior. Porém, como muitos alunos que não estavam presentes naquela aula estavam nessa, foi solicitado que se realizasse uma nova, e breve, explicação sobre o termo de consentimento, que foi entregue junto com os demais materiais referentes à primeira aula para aqueles que haviam faltado. Em seguida, a pesquisadora-professora apresentou, com base nos questionários que os alunos haviam entregue na aula anterior, um apanhado geral das respostas, para que pudesse suscitar uma conversa entre os participantes e, então, realizou uma mediação propondo um debate sobre a leitura que havia sido feita, como esse recurso poderia ser trabalhado com os alunos de Ensino Médio, se ele seria um material adequado ou se os licenciandos acreditavam que existissem outras formas de realizar essa apresentação do tema para esse nível de ensino. A apresentação utilizada pode ser conferida no Anexo III. A atividade relatada aqui utilizou cerca de meia hora da aula, e então foi dada continuidade às atividades.

Para essa aula, foi programado que os alunos efetuassem a leitura de textos do tipo divulgação científica. Para isso foi entregue, aleatoriamente, um texto dentre os seguintes, que podem ser encontrados no Anexo II: Autos de Goiânia (CANDOTTI *et al*; LIPSZTEIN, RAMALHO, 1988), Energia Nuclear (PORTELA, LICHTENTHÄLER FILHO, 2000), Revista Galileu (NOGUEIRA, 2005) e Revista USP (GOLDEMBERG; HUSSEIN, 2011). Os alunos foram então convidados a efetuar cada um a sua leitura. Entretanto, tinham a liberdade para conversar entre si, com a pesquisadora-professora, com o professor responsável pela turma ou ainda com o doutorando que desenvolvia atividades do PED na disciplina. Conforme acabavam a leitura do texto, os alunos

recebiam outro questionário (Apêndice IV), esse devendo ser respondido tendo como referência o material que tinham em mãos. Essa aula tinha o foco voltado para os sentidos produzidos pela leitura do texto e para as possibilidades que os alunos vislumbravam para a utilização da divulgação científica no Ensino Médio. Assim como na primeira aula, alguns alunos não conseguiram efetuar a leitura e responder o questionário, ficando este para ser entregue na aula seguinte, bem como a discussão sobre a leitura.

A terceira aula teve início com o recolhimento dos questionários daqueles que não o haviam entregue na aula anterior e com uma apresentação (Apêndice V) elaborada com base nas respostas dos alunos para o questionário do Apêndice IV, que haviam entregue na semana anterior. Essa apresentação possibilitou uma mediação da pesquisadora-professora, bem como uma discussão mais ampla com os alunos, os quais puderam trocar informações contidas no material que haviam lido, uma vez que não foram todos que leram o mesmo texto.

Após essa atividade de retomada, a pesquisadora-professora, ainda com o auxílio da apresentação elaborada (Apêndice V) explicou como seria realizada a atividade da última aula. Sentimos que essa explicação era necessária pelo comentário do professor responsável pela turma que considerou que os termos utilizados na atividade poderiam ser confusos para os alunos, visto que estavam cursando o primeiro semestre do curso. Então, essa parte da aula tendeu a ser mais voltada para a formação inicial dos licenciandos em física. Nela os alunos, divididos em grupos, foram convidados a elaborar uma proposta de aula utilizando algum(ns) dos recursos apresentados nas aulas anteriores. Devido ao fato desse projeto ter sido desenvolvido no primeiro semestre do curso de Licenciatura em Física, consideramos que esse seria, possivelmente, um dos primeiros contatos com esse tipo de atividade. Por isso os alunos receberam uma folha com alguns elementos que essa proposta de aula deveria conter (Apêndice VI), sendo coerentes com a apresentação realizada pela pesquisadora-professora. Após elaborarem essa proposta os alunos foram convidados a compartilhar com os colegas de sala sua produção. A realização dessa atividade foi mais rápida, o que possibilitou ainda a realização de uma discussão final sobre as propostas apresentadas pelos alunos.

Após o encerramento das três semanas, a pesquisadora-professora ainda acompanhou a turma por mais algumas aulas, e se colocou em disponibilidade, caso algum aluno tivesse interesse em dialogar sobre o tema ou as propostas elaboradas durante

o projeto. Entretanto todas as discussões foram finalizadas na terceira aula, na qual cerca de quatro alunos ficaram com a pesquisadora-professora, o professor responsável e o aluno de doutorado que realizava o PED por cerca de uma hora além do horário previsto para o término da aula.

## **5. Análise das informações coletadas junto aos licenciandos**

Seguimos agora para as análises das informações que foram coletadas ao longo das aulas ministradas pela pesquisadora-professora. Destacamos que os nomes apresentados são fictícios e a redação dos alunos foi mantida.

### **5.1 Os questionários em geral**

Os alunos responderam a questionários semanais sobre a leitura que haviam realizado. Analisamos aqui algumas respostas para o primeiro deles (Apêndice I). Lembramos que 24 alunos aceitaram participar da atividade, e na primeira aula, 20 responderam ao questionário. Nesse questionário, a terceira pergunta que fizemos foi:

“Imagine-se organizando uma aula de física para o Ensino Médio. Comente como você acha que poderiam ser utilizados os seguintes recursos e qual a importância e possíveis problemas dessa utilização: a) Livro didático b) Exercícios semelhantes a outros já resolvidos em classe pelo professor c) Problemas d) Textos de Divulgação científica, e) Textos literários f) Textos de história da ciência g) Histórias em Quadrinhos h) Material para aulas experimentais i) Vídeos j) sua voz em uma aula expositiva k) Giz para escrever na lousa l) Computador. ”

Como se tratava de uma questão longa, nem todos os alunos responderam todas as alíneas. Alguns optaram por responder apenas as que, aparentemente, julgaram mais interessantes, ou as que se identificavam.

Gráfico 1: Respostas sobre o uso de exercícios em sala de aula



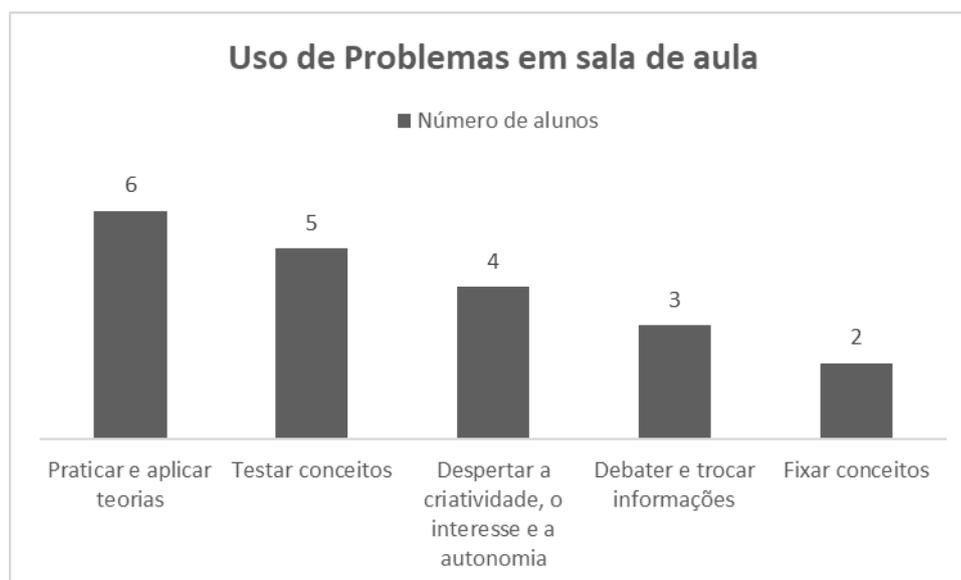
Fonte: Autoria própria

Com relação ao uso de exercícios em sala de aula, tivemos que, seis alunos (30%) associaram seu uso como importante para fixar o conteúdo, enquanto cinco alunos (25%) o relacionou apenas com a prática. Um percentual relativamente mais baixo, 10% (dois alunos) acredita que a resolução de exercícios pode auxiliar a sanar dúvidas conceituais. Importante destacar que sete alunos (35%) não responderam a esta questão, possivelmente por não saberem apresentar um uso definido do material. Assim, de forma geral, podemos dizer que o uso de exercícios em sala de aula é visto por esse grupo de licenciandos em física como um recurso de fixação e prática de conceitos, mas nem todos consideram que ele é um bom recurso, como podemos observar com a aluna.

*Camila<sup>5</sup> – O aluno só saberá fazer aquele tipo de exercício*

<sup>5</sup> Todos os nomes são fictícios e foi mantida a ortografia dos alunos

Gráfico 2: Respostas sobre o uso de problemas em sala de aula



Fonte: Autoria própria

Para o uso de problemas no ensino de física, seis alunos (30%) acreditam que eles podem ser utilizados para praticar e aplicar teorias; cinco alunos (25%) para testar conceitos; quatro alunos (20%) para despertar a criatividade, o interesse e a autonomia; três alunos (15%) para debater e trocar informações com os colegas em sala de aula. A noção de fixar conceitos que no item anterior havia aparecido na resposta de quase sete alunos (35%) dos alunos, aqui aparece em apenas 10% (dois alunos). Destacamos ainda que essa alínea foi respondida por todos os alunos.

Apresentamos aqui a resposta de uma aluna que nos chamou atenção:

*Mayara - O que julgo primordial são os problemas, pois através deles os alunos podem ter um contato melhor com a física e autonomia para desenvolver suas próprias soluções.*

A aluna apresenta a ideia de autonomia. Acreditamos que a representação que a aluna faz de problema é que o recurso permite que o aluno desenvolva estratégias para conseguir realizá-lo. Assim, podemos inferir que ela diferencia exercícios de problemas e parece acreditar na qualidade desse recurso para se aprender física.

Gráfico 3: Respostas sobre o uso de textos literários em sala de aula



Fonte: Autoria própria

Gráfico 4: Respostas sobre o uso de textos históricos em sala de aula



Fonte: Autoria própria

Gráfico 5: Respostas sobre o uso de história em quadrinhos em sala de aula



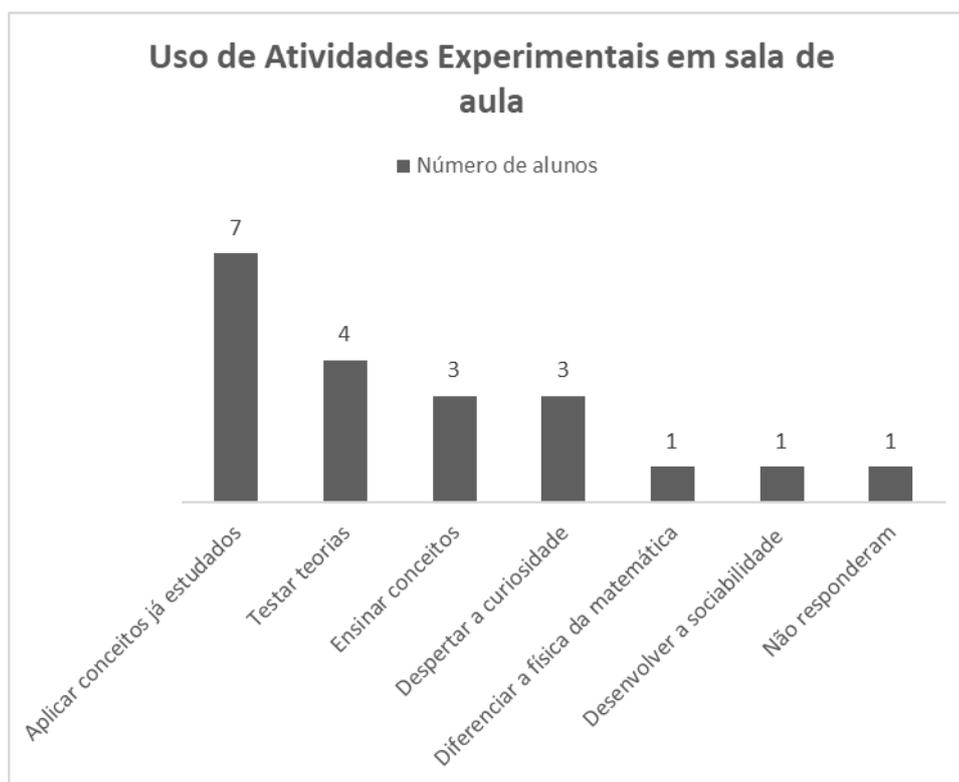
Fonte: Autoria própria

Para o uso de textos literários, seis alunos (30%) disseram que seu uso seria para motivar e despertar a curiosidade dos alunos; quatro alunos (20%) associaram seu uso com atividades interdisciplinares, o mesmo percentual indicou que o texto seria interessante para apresentar a história do conteúdo estudado. Aqui é necessário dizer que se enquadram na categoria de texto literário aqueles como: Novelas, contos, dramas, poemas, etc. Esse tipo de material costuma apresentar elementos artísticos e ficcionais, além de muitas figuras de linguagem e analogias. Assim, não constituem, necessariamente, uma forma de se apresentar a história de algum conceito. Tal objetivo, se adequaria melhor quando falamos de textos sobre a história da ciência, ou simplesmente, textos históricos, que, quando perguntamos sobre seu uso, 55% (11 alunos) o associou com motivação e curiosidade; nove alunos (45%) apontaram que seria utilizado para apresentar a história do conteúdo estudado.

Ainda com relação à leitura de textos, perguntamos como os alunos trabalhariam com histórias em quadrinhos e novamente, a maior porcentagem se deu para motivar e despertar a curiosidade, oito alunos (40%); três alunos (15%) disseram que

utilizaria para diversificar a aula, porém, não temos informações sobre como seria esse tipo de atividade; o mesmo percentual apontou que seu uso não é interessante para o ensino de física, dado este que chamou nossa atenção; um aluno (5%) associou com atividades interdisciplinares; o mesmo percentual apontou seu uso em atividades como debates e, também um aluno (5%) disse que as histórias em quadrinhos seriam limitadas aos enunciados de exercícios a serem resolvidos. A rejeição dos alunos para esse recurso didático pode ter origem em diferentes situações. Entre outros, os alunos podem não ter o hábito de ler histórias em quadrinhos, não gostarem ou terem tido contato com alguns tipos de histórias em quadrinho que não trazem tantos elementos lúdicos para a sala de aula, desagradando os estudantes, como Brugliato (2016) observou ao trabalhar com um texto em formato de história em quadrinhos, mas com um conteúdo muito denso e que se aproximava mais de uma aula comentada.

Gráfico 6: Respostas sobre o uso de atividade experimental em sala de aula



Fonte: Autoria própria

Um recurso de que muito se fala, quando o assunto é aula de física, é a atividade experimental. Muitos livros didáticos apresentam algumas propostas de

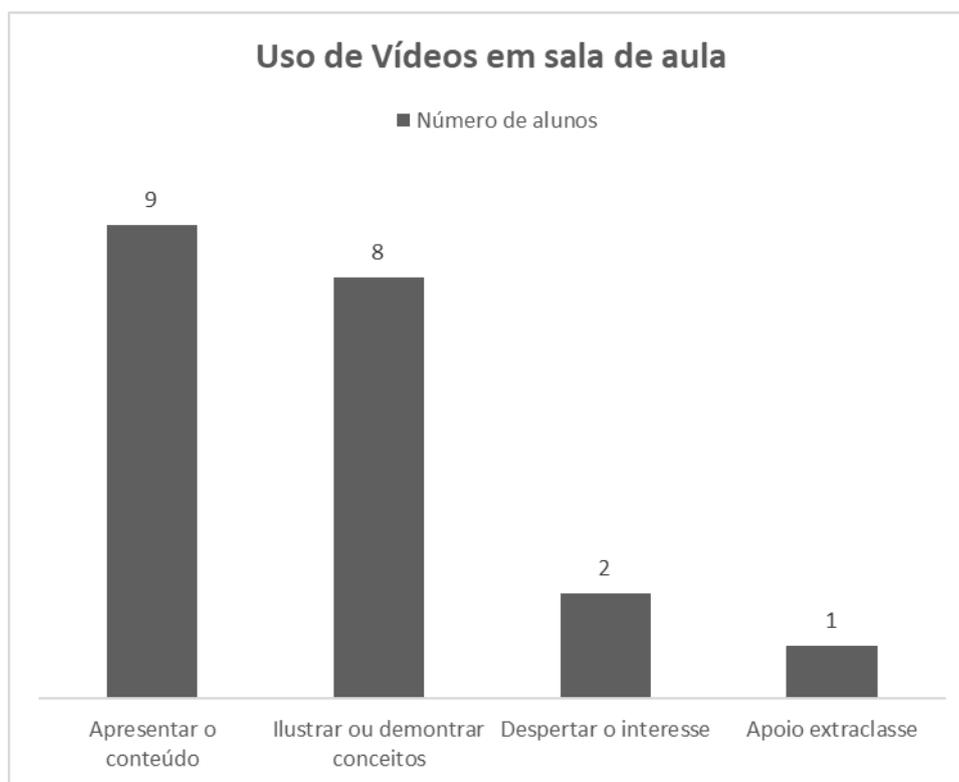
atividades experimentais com matérias simples e do cotidiano dos alunos, para que sejam realizadas, mesmo sem a supervisão do professor. Sobre seu uso, tivemos que sete alunos (35%) acham que seu uso pode ser como forma de aplicar os conceitos já estudados; quatro alunos (20%) se aproximam dos outros, mas colocam elementos voltados ao teste de teorias. No grupo com maior porcentagem há a alusão de que a atividade obrigatoriamente terá o resultado esperado, enquanto o segundo aparenta abrir margem para erros experimentais. Três alunos (15%) acreditam que seu uso pode ser feito para ensinar os conceitos, tendo a sequência da aula invertida, no caso, as atividades experimentais seriam uma forma de apresentar o conteúdo e não como recurso de aplicação. Também três alunos (15%) apontam como atividade para despertar a curiosidade. Um dado interessante, embora em uma porcentagem reduzida, 10% (dois alunos), dizem que as atividades seriam importantes para diferenciar a física da matemática, mesma porcentagem que a utilizaria para desenvolver a sociabilidade entre os alunos.

Esses dados chamam a nossa atenção, muitos estudos são feitos sobre a experimentação, dentre eles, podemos citar: Araújo e Abib (2003), Séré, Coelho e Nunes (2004) e Silva e Rocha Filho (2010). Apesar desses, e de muitos outros estudos, temos que os experimentos são um atrativo para os alunos e isso permite que alguns acreditem que ele pode ser ferramenta muito importante para o ensino. Destacamos entretanto, que nenhum recurso é suficiente de forma isolada.

O próximo recurso sobre o qual perguntamos foi o vídeo. Quando pensamos em vídeos na formulação da pergunta, nosso imaginário consistia de filmes, feitos ou não para o ambiente escolar. Entretanto, nosso grupo de alunos apresentou uma representação diferente disso e mais próxima das chamadas vídeo-aulas que, segundo Cledes, Gabriel Filho e Costa (2012), são vídeos de curta duração que têm como objetivo atrair a atenção dos alunos que, no decorrer da pesquisa realizada por eles, se mostraram mais interessados, motivados e abertos a discussões. Grande parte dessas vídeo-aulas estão disponíveis em canais da internet como no YouTube e isso fica evidente em respostas dadas por uma aluna do grupo do estudo:

Natasha – *Expor canais com conteúdo científico produzidos na internet/youtube.*

Gráfico 7: Respostas sobre o uso de vídeos em sala de aula



Fonte: Autoria própria

De forma geral, 45% (nove alunos) apontou que esse recurso poderia ser utilizado para apresentar o conteúdo; 40% (oito alunos) associou seu uso como forma de ilustrar ou demonstrar os conceitos apresentados em aula; dois alunos (10%) para despertar o interesse; e um aluno (5%) como ferramenta de apoio extraclasse.

Com relação à voz do professor queríamos saber como os alunos viam a importância de uma aula na qual o professor ficasse à frente na sala discursando sobre o conteúdo. Muitos alunos não responderam essa questão, talvez devido à forma como ela foi elaborada, o que pode ter dado a entender que se relacionava com outros recursos como o uso da lousa, por exemplo, ou com relação à necessidade de chamar a atenção. Dentre os nove que responderam, sete a associou como forma de apresentar o conteúdo; um como mediação da aprendizagem e um como recurso necessário para chamar a atenção dos alunos. Destacamos que 11 alunos não responderam a essa questão, possíveis justificativas para isso podem ser: por se tratar de uma questão longa e que, nesse caso, é comum as últimas partes não serem respondidas; pode ser que os alunos também não tenham conseguido interpretar a forma como estruturamos a pergunta; ou ainda, pode ser

que os alunos não a considerem importante, ou a considerem tão importante que julgaram não ser necessário comentar sobre.

Gráfico 8: Respostas sobre o uso da voz do professor em sala de aula



Fonte: Autoria própria

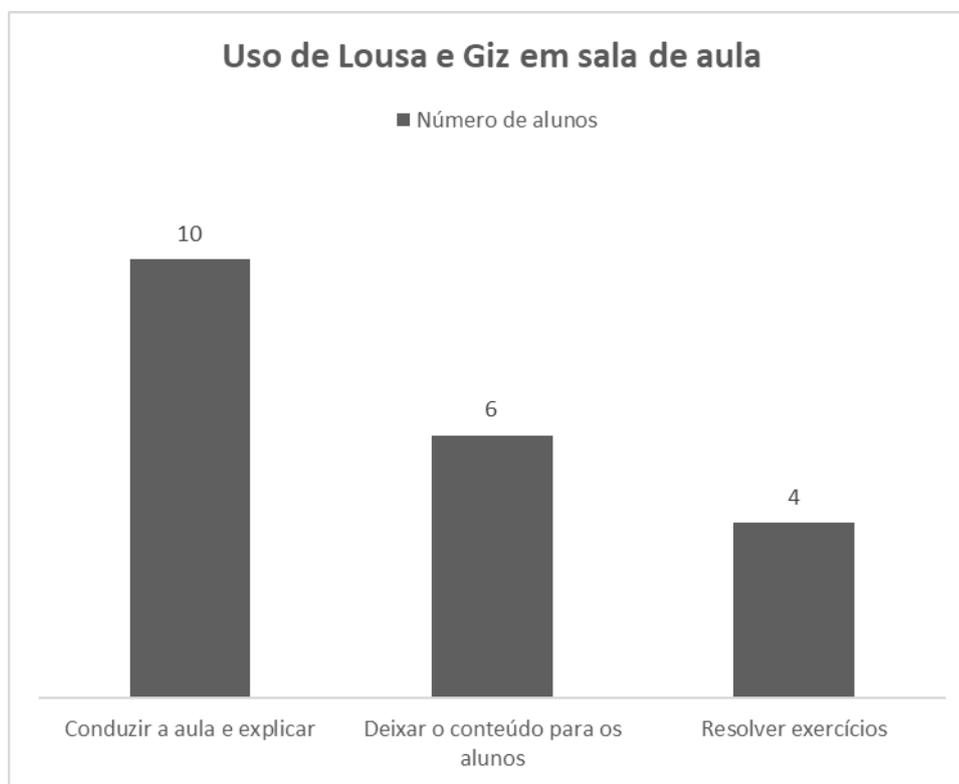
*Aline – É de relevante importância, pois o professor deve ser mediador na aprendizagem do aluno; que, diante de suas explicações, o aluno possa entender conceitos e conteúdos e facilitar seu progresso escolar.*

A aluna, ao apresentar a noção de mediação, no início do curso de licenciatura, chama a nossa atenção. Assim, buscando conhecer melhor tal aluna, obtivemos informações de que ela trabalhava com educação infantil em uma creche, tendo cursado anteriormente Pedagogia. Portanto, a noção de mediação não aparece no discurso da aluna como infundada, sendo, sim, carregada de ideologia, da história de vida dela.

Entretanto, nem todos os alunos conseguiram distinguir a aula expositiva da aula utilizando lousa e giz. Assim, quando nos referimos a esse segundo item obtivemos que 50% (10 alunos) utilizaria o recurso para conduzir a aula e explicar os conteúdos; seis

alunos (30%) apontaram que ela seria uma forma de deixar o conteúdo escrito para os alunos copiarem; e quatro alunos (20%) para resolver exercícios

Gráfico 9: Respostas sobre o uso da Lousa e do Giz em sala de aula

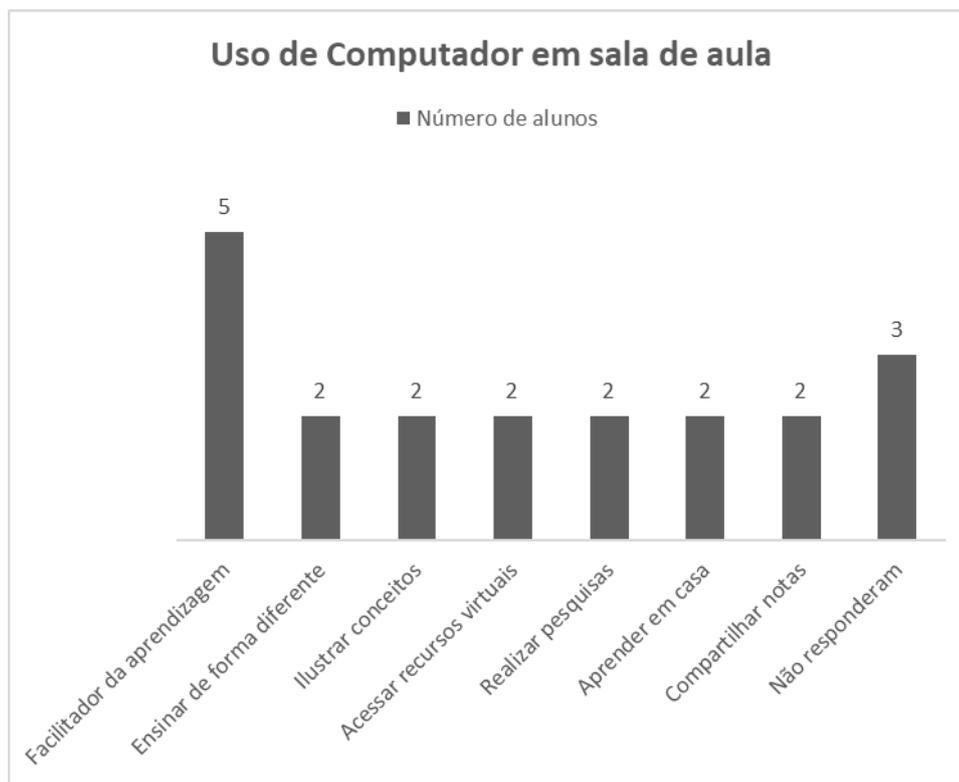


Fonte: Autoria própria

*Aline – Como forma de explicar, explicitar conteúdos teóricos; pois na física querendo ou não, o aluno deve ter um conhecimento matemático, resolver equações enfim; no entanto é importante que tudo isso faça sentido a ele (ao aluno).*

Aline traz a importância que a lousa tem para se explicar conceitos físicos e trabalhar com a linguagem matemática. No discurso da aluna, uma passagem que chama a nossa atenção é quando ela aponta que tudo deve fazer sentido para o aluno, isso evidencia que ela se importa com como a atividade está chegando para eles e com como o uso dos recursos pode facilitar, ou não, a aprendizagem.

Gráfico 10: Respostas sobre o uso de computador em sala de aula



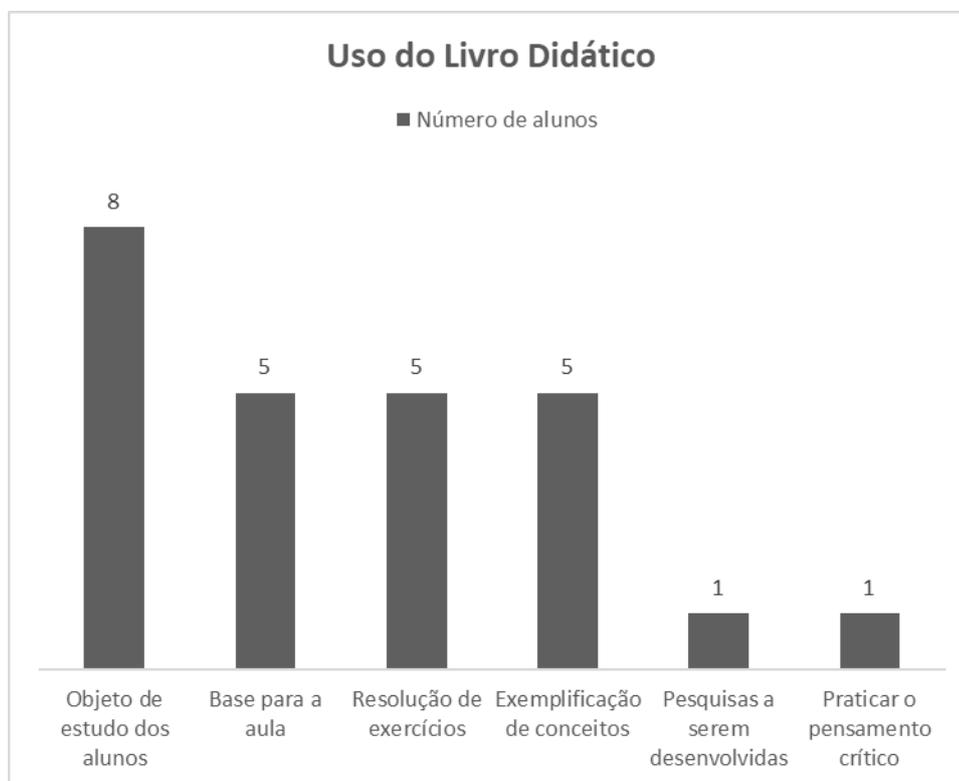
Fonte: Autoria própria

Sobre o uso do computador, cinco alunos (25%) o apontam como facilitador da aprendizagem, mas não explica como seria seu uso. Ensinar de forma diferente, ilustrar conceitos, acessar recursos virtuais, realizar pesquisas, ferramenta para o aluno aprender em casa e forma de compartilhar notas de aula aparecem todos com o mesmo percentual, 10% (dois alunos). Aqui percebemos uma divergência entre as respostas dos alunos. Vários deles, quando questionados sobre o uso de vídeos se referiram a vídeos da plataforma do YouTube. Entretanto, apenas um citou que o computador poderia ser utilizado para acessar recursos virtuais. Destacamos que, em aulas anteriores à aplicação do questionário, os alunos haviam tido, com o professor da turma, uma aula envolvendo o uso de simulações disponíveis em plataformas online e, apenas um dos alunos citou o uso desse material, nos levando a acreditar que a atividade, embora aparentemente tivesse atraído a atenção dos alunos, não parece ter feito com que eles expressassem o desejo de trabalhar com esse recurso.

## 5.2 Posições dos alunos sobre o uso do Livro Didático

Com base na questão três do questionário inicial, foi possível elaborar o Gráfico 11, destacamos que os alunos poderiam indicar mais de um uso para o recurso:

Gráfico 11: Respostas dos alunos sobre o uso do Livro Didático no Ensino Médio



Fonte: Autoria própria

Podemos notar que a maioria dos alunos, aponta o livro didático como possível objeto de estudo. Essa escolha pode ser consequência do imaginário oriundo do Ensino Médio, mas pode também ser originária ou complementada pelo contato que estavam tendo com esse material ao longo do primeiro semestre da graduação, uma vez que é característico do curso os alunos recorrerem ao livro didático como principal recurso de estudo para as avaliações. Entretanto, ele não é amplamente utilizado em sala de aula, muitas vezes sendo subutilizados como destacam autores como Zambon e Terrazzan (2017) o que pode ter levado o aluno dizer, se referindo a este recurso:

*Ismael - É um dos principais meios de ensino, pois é através dele que o aluno tem um maior contato com a matéria, pode resolver exercícios*

*propostos e usar outros já resolvidos para auxiliá-lo na resolução. Não muito necessário na sala de aula.* (Grifo nosso)

Para esse aluno o livro não tem um uso significativo em sala de aula. Outro aluno, que enfatiza a importância do livro para estudo é o Gustavo que diz:

*Gustavo - O livro didático é de extrema importância para o uso do aluno. Deve ser utilizado de forma a consulta do aluno quando estudando em casa.*

Notamos com o exemplo desses dois alunos que o livro didático como objeto para o estudo do aluno extraclasse está muito presente no imaginário desses licenciandos. É possível que esse imaginário tenha relação com a forma como utilizavam o livro didático nas aulas do Ensino Médio e como, possivelmente, seguem o utilizando no Ensino Superior.

Enquanto oito alunos associam o uso do livro como objeto para o aluno, cinco o associam ao professor, sendo utilizado como base para a aula. Outros 5 o associaram com resolução de exercícios. Sobre a resolução de exercícios, diversos estudos apontam que esse é o principal uso que se faz desse material em sala de aula do nível médio. Zambon e Terrazzan (2017) trazem isso em seu estudo sobre a (sub)utilização do livro didático no Ensino Médio e apontam que esse uso para o livro é encontrado em estudos desde a década de 70 e que essa “tradição” pode ser originária do uso que é feito desse material no nível superior.

Um aluno que levanta uma questão importante sobre o uso do livro é Bruno:

*Bruno - O livro didático é importante pois lá está contido o conhecimento que o aluno pode necessitar de acordo com o problema que lhe for apresentado, mas um problema é que são situações muito controladas e que só necessitam utilizarem formas mecânicas já decoradas para resolverem.*

Notamos que o aluno reconhece o amplo uso do livro para esse objetivo, mas ressalta que as condições de produção desse conhecimento são controladas de forma a desenvolver estratégias para resolver determinados tipos de exercícios. Entretanto, tanto no Ensino Médio quanto no Superior, alguns livros buscam trazer exercícios clássicos de

simples aplicação de fórmula e outros que exigem mais do aluno. Rafael também evidencia a questão do uso feito dos exercícios. Para ele, o livro é:

*Rafael - Importante para o aprendizado pois incentiva o aluno a ler e compreender o assunto ministrado, porém incentiva o método de “decorar” fórmulas e etc.*

Percebemos que o aluno reconhece que o livro pode ter um papel importante na aprendizagem de conteúdos, mas que dependendo da forma como esse recurso é usado pode privilegiar o processo de repetição empírica, na qual simplesmente se reproduz uma fórmula, exercício após exercício, até decorá-la e muitas vezes com o único objetivo de reproduzi-la nas avaliações.

Outro ponto apresentado pelos alunos é que o livro didático pode ser utilizado como base para as aulas, mas cabe destacar que, embora eles tenham apresentado esse uso para o livro, também trouxeram a importância de não se limitar a ele e nem o seguir completamente. Thiago coloca que seu uso deve ser:

*Thiago - Como apoio e consulta da teoria, no entanto, nunca se prender ao livro fielmente e abordar outros tópicos.*

Ainda com esse uso, temos a aluna Camila que aponta que o uso do livro didático tem seu lado positivo, mas pode apresentar problemas no decorrer do seu uso:

*Camila - Auxilia na montagem das aulas para definir os tópicos a serem abordados, mas o professor/aluno acabar utilizando o livro didático como uma “Bíblia”.*

O aluno Ricardo apresenta indícios de ter uma proposta diversificada para o livro didático quando coloca que ele

*Ricardo - Pode ser utilizado para fazer os estudantes pesquisarem sobre determinado assunto necessário para a aula e para praticar o pensamento crítico nos alunos.*

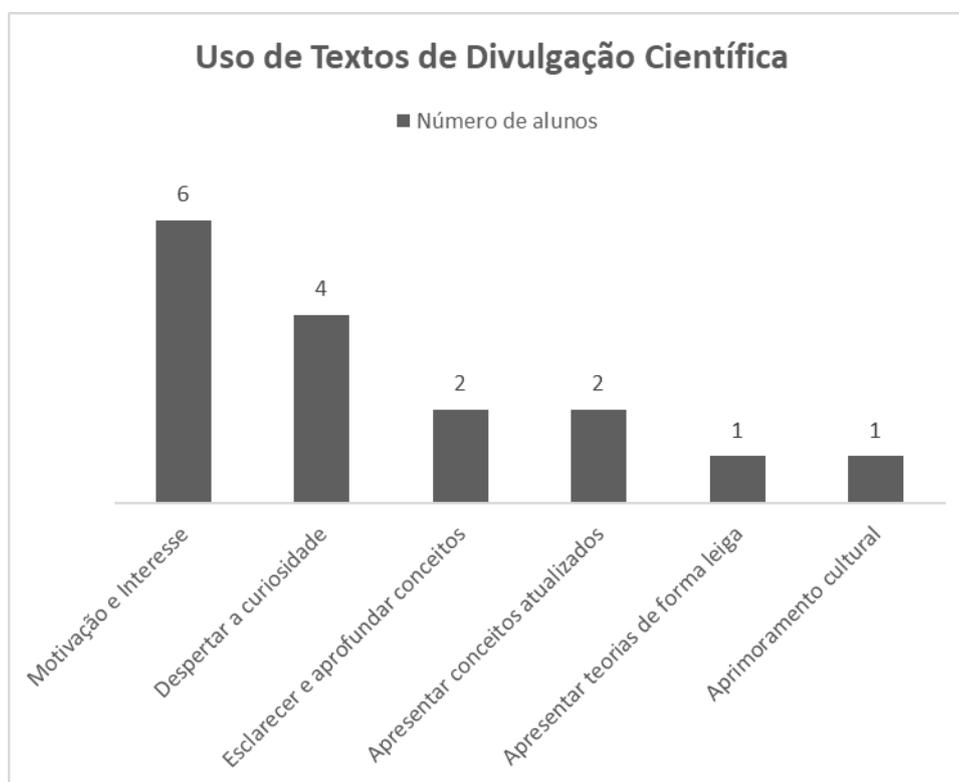
Entretanto, como ele não oferece mais informações sobre como seriam essas propostas, inferimos que seu contato com o livro em ambiente escolar, possivelmente no Ensino Médio, ocorreu de maneira diferenciada de outros alunos, uma vez que não o apresenta como base para elaborar as aulas, ou como possível objeto de estudo do aluno.

Quando o aluno apresenta que o livro pode ser utilizado para os alunos pesquisarem, podemos pensar em uma aula na qual o professor faz sugestões de leituras para as aulas seguintes nas quais os alunos recorrem ao texto, não como fonte de exercícios, mas como um recurso com informações, que pode ser utilizado no ensino. Outro ponto que Ricardo coloca é com relação ao pensamento crítico, aqui podemos novamente levantar a hipótese de que o contato que ele teve com o livro foi diferente do já comentado.

### 5.3 Posições dos alunos sobre o uso de textos de Divulgação Científica

Ainda com base no questionário inicial elaboramos o Gráfico 12:

Gráfico 12: Respostas dos alunos sobre o uso de textos de Divulgação Científica



Fonte: Autoria própria

Com relação aos textos de divulgação científica o que chamou a nossa atenção foi o fato de mais de 12 alunos (60%) terem vinculado seu uso com motivação, interesse ou curiosidade, enquanto apenas cinco (25%) relacionam com conceitos em sala de aula. Tivemos ainda um aluno que a associou com o conteúdo apresentado de forma leiga, o

que evidencia o imaginário que ele tem desse material. Sobre o enunciado do aluno, destacamos que a divulgação científica não é divulgada, ou seja, não é produzida por alguém que não compreende o assunto, o que implicaria em uma divulgação sem critérios. Em alguns tipos de divulgação científica, o que pode acontecer é a linguagem ser mais próxima da cotidiana, e isso pode permitir que esse recurso atinja um número maior de pessoas. Nesse caso a DC pode ser destinada para leigos, mas não produzida de forma leiga.

O uso desse material em sala de aula tem sido objeto de estudos frequentes, como podemos ver na revisão bibliográfica. Podemos citar diversos trabalhos recentes que propõem o uso de textos de divulgação científica em aulas de física, como Silva e Almeida (2015), Pagliarini e Almeida (2016) e Silva e Zanotello (2017). A divulgação científica não está sendo utilizada apenas pelo público “leigo”, assumindo que o aluno se referiu a uma situação fora da escola. Atualmente, o potencial desse tipo de discurso vem sendo muito explorado em ambiente escolar também.

Analisamos agora alguns posicionamentos dos alunos.

*Toni - Podem ser bons para criar curiosidades ou esclarecimentos para alunos.*

Notamos que o aluno tem dúvidas sobre o possível uso que pode ser feito desse material. Ele perpassa dois aspectos, o da curiosidade e o do conhecimento, quando aponta que pode esclarecer alguns pontos para os estudantes do EM.

*Jean – Ótimo para induzir o aluno a curiosidade sobre os temas*

*Gustavo – Textos de divulgação científica podem ser usados a fim de instigar os alunos sobre determinado assunto, evidenciando e promovendo um “norte” para aquilo que está estudando*

Aqui, temos dois casos diferentes, mas que se relacionam. Jean apresenta um discurso mais direcionado para a curiosidade que o recurso pode despertar já que a divulgação pode realizar esse papel, mas ela tem muitas outras possibilidades a serem exploradas. Gustavo deixa essa curiosidade um pouco menos explícita, mas ainda evidente, porém ele relaciona com um ponto de partida para direcionar o aluno no que ele estiver estudando. Temos a impressão de que os alunos propõem a leitura desse material antes de explicar sobre o conteúdo nas aulas, de forma que, ao desenvolvê-lo pudessem

fazer referência ao que foi lido e que inicialmente despertou a curiosidade, como forma de manter o interesse dos estudantes no assunto abordado. Entretanto, não podemos afirmar que esse seria o uso proposto.

Alguns alunos buscaram trazer o conteúdo para o objetivo de se trabalhar com a divulgação científica. Trazemos aqui o exemplo de uma aluna:

*Aline – Para aprofundamento em determinado assunto*

Diferente dos discursos anteriores, aqui temos a impressão de que a aluna utilizaria o recurso após desenvolver o conceito que ela aborda em sala de aula. Inferimos isso por ela trazer a ideia de “aprofundamento” e não de “curiosidade”, o que remete a objetivos bem diferentes. Enquanto um, busca trabalhar em um terreno no qual o leitor já tem algum conhecimento sobre e quer avançar nele, seja vendo aplicações práticas, ou com relação ao próprio conteúdo; outro tem o objetivo de promover um interesse em saber sobre o assunto até então “desconhecido”.

*Guilherme - Deixará os alunos dentro do conteúdo científico atualizado.*

Percebemos que o aluno tem uma representação de divulgação científica como material que apresenta coisas novas. Entretanto, o seu discurso deve ser compreendido com cuidado, uma vez que ele associa o uso de textos de divulgação científica com conteúdo atualizado, podendo entender que a forma que outros recursos trazem, o faz de maneira desatualizada.

*Bruno – Texto de divulgação científica seria bom comentar rapidamente sobre e indicar links ou imprimir e levar aos alunos, acho legal isso, porque estimula a verem o que podem fazer e perceber que não só aquele mundo em que vivem na escola que se aplica, não vejo problemas.*

Bruno, em seu discurso chama a atenção para o fato de que a divulgação científica pode expandir os horizontes dos alunos e apresentar aplicações para os conteúdos que estão sendo estudados, isso pode permitir que o aluno se envolva com a disciplina ao perceber que aquilo que ele está vendo em sala de aula vai muito além dos seus muros, chegando direta, ou indiretamente, ao seu cotidiano e podendo não apenas melhorar, mas também interferir em sua vida. Apresentar isso na Educação Básica pode ser uma maneira de formar cidadãos mais críticos e conscientes dos benefícios e malefícios que a ciência pode trazer, conforme sua utilização.

Consideramos que os posicionamentos dos alunos foram divergentes, o que ressalta os múltiplos sentidos que podem ser atribuídos para esse tipo de atividade. Essa possibilidade ressalta a pertinência de uma unidade de ensino que aborde mais de um tipo de discurso em ambiente escolar, permitindo que os alunos interajam e atribuam sentidos para as atividades a partir de suas histórias de vida e condições de produções.

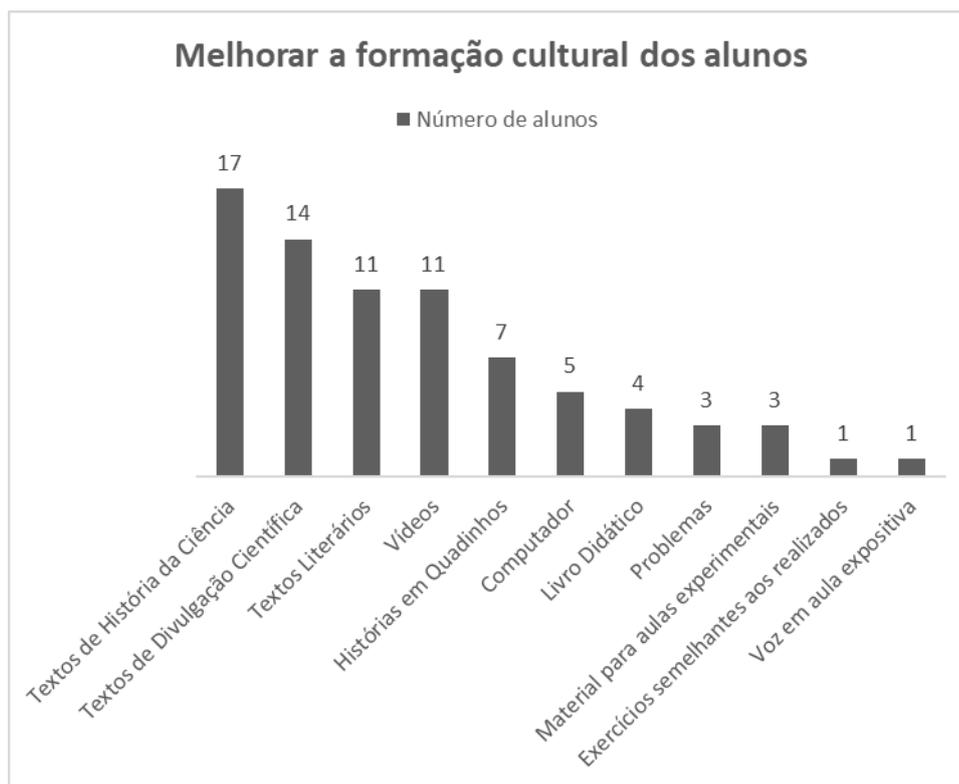
#### **5.4 Posições dos alunos sobre os recursos pedagógicos**

Outra pergunta que fizemos, buscava evidenciar como os alunos enxergam a possibilidade desses recursos que foram apresentados contribuírem para a formação cultural dos estudantes e para seu aprendizado:

“Que tipo de recurso(s), como o(s) apresentado(s) acima, você utilizaria em uma aula de física para: a) Melhorar a formação cultural dos alunos. b) os alunos aprenderem física.”

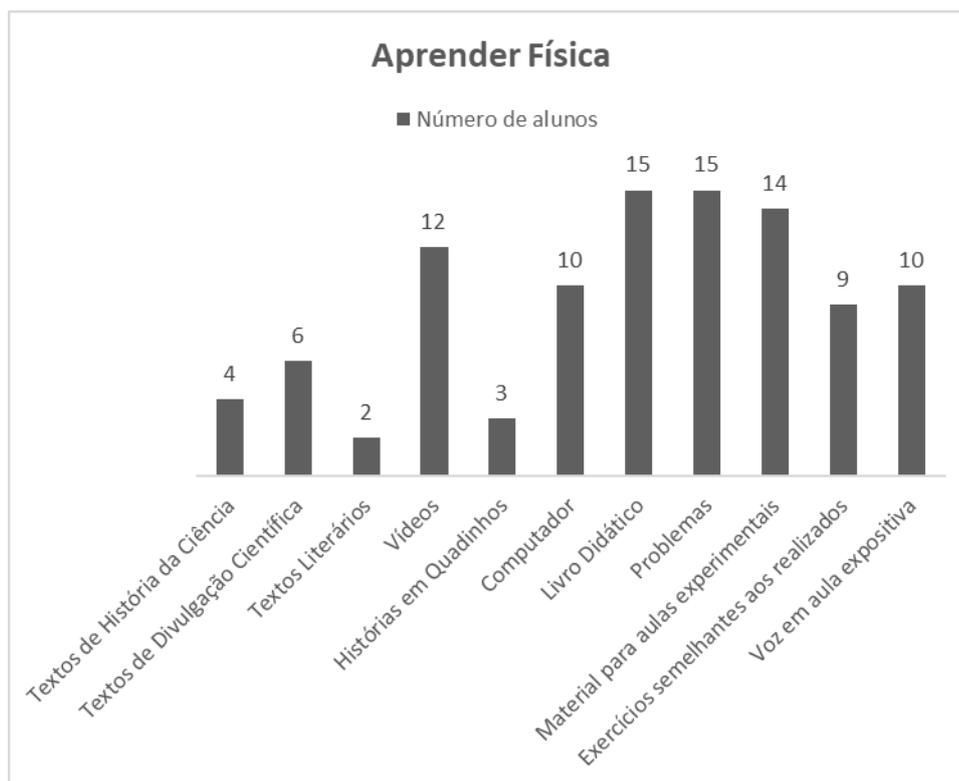
Para essa pergunta os alunos estavam livres para escolherem mais de um recurso para cada alínea, o que justifica o alto número de respostas apresentados nos Gráficos 13 e 14:

Gráfico 13: Respostas dos alunos sobre contribuições dos recursos para melhorar a formação cultural



Fonte: Autoria própria

Gráfico 14: Respostas dos alunos sobre contribuições dos recursos para aprender física



Fonte: Autoria própria

A partir das respostas dos alunos podemos compreender características dos seus imaginários sobre formação cultural. Das respostas obtidas, 55% associou que utilizariam a leitura de textos. A resolução de problemas aparecer como uma das últimas opções para desenvolver a formação cultural dos alunos o que nos levou, novamente, a pensar se os alunos compreendem a diferença entre problemas e exercícios. Dizemos isso pois, embora a maioria tenha, na questão anterior, relacionado o objetivo desse recurso com a aplicação, prática ou teste de conceitos, alguns alunos acreditavam que ele poderia ser interessante para proporcionar debates, despertar criatividade e desenvolver autonomia dos alunos, objetivos esses, ao nosso ver, capazes de melhorar a formação cultural.

Tal relação feita pelos alunos nos remete a Zanetic (1989) quando o autor comenta sobre cultura no ambiente escolar:

Quando se comenta sobre a cultura, de um modo geral, raramente a física comparece de imediato na argumentação, ou outra representante das ciências naturais dá o ar de sua graça. Cultura, quando pensada "academicamente" ou com finalidades educacionais, é quase sempre evocação de alguma obra literária, alguma grande sinfonia ou uma pintura famosa; cultura erudita, enfim. Tal cultura traz à mente um quadro de Picasso, uma sinfonia de Beethoven, um livro de Dostoyevsky, enquanto que a cultura popular faz pensar em capoeira, num samba de Noel ou num tango de Gardel. Dificilmente, porém, cultura se liga ao teorema de Godel ou às equações de Maxwell. (ZANETIC, 1989, p.96)

Essa noção de cultura apresentada pelo autor vai ao encontro da apresentada pelos nossos licenciandos. Notamos que textos, aparecem como recursos que eles acreditam melhorar a formação cultural, enquanto outros recursos como livro didático e o próprio professor aparecem ao final da tabela. Ainda nessa vertente, continuamos apresentando Zanetic (1989):

Ao mesmo tempo nos deparamos com as dificuldades em lidar com informações científicas básicas, como foi o caso do acidente radioativo de Goiânia em 1988. E também há o crescente interesse despertado por livros de divulgação científica que atingem, às vezes, várias edições no nosso mercado editorial. Mas há uma dificuldade muito grande em integrar essa incipiente curiosidade cultural pela ciência e aquilo que se passa na escola. Ou seja, a maioria das pessoas consome ciência enquanto cultura mas, ao mesmo tempo, está alienada de sua presença real no cotidiano. (ZANETIC, 1989, p. 96)

Assim, o autor traz mais um ponto que justifica os textos serem apresentados como recurso para a formação cultural. Segundo ele, as divulgações científicas trazem a noção de cultura embutida nelas de forma que as pessoas a consumam sem perceber. Entretanto ainda parece haver um limitador para que ela faça parte do cotidiano da população.

Sobre recursos utilizados para aprender física, notamos uma diferença significativa daqueles apontados como possível de se melhorar a formação cultural. O livro didático aparece como o recurso que mais seria utilizado com 13,6% das respostas, mesmo percentual de alunos que disseram utilizar problemas; 12,7% apontaram o uso de atividades experimentais; 10,9% de vídeos; 9% aulas expositivas, lousa e computadores; 8% exercícios 5,5% textos de divulgação científica, 3,6% textos de história da ciência; 2,7% histórias em quadrinhos; e 1,8% textos literários.

As respostas dos alunos com relação ao que eles utilizariam para que os alunos aprendessem física chama a nossa atenção. Problemas e atividade experimental que foram pouco citados como recursos para melhorar a formação cultural, nesse caso encabeçam as primeiras posições de recursos para os alunos aprenderem física, juntamente com o livro didático. A voz do professor e a lousa também aparecem muito mais valorizados aqui, sendo a leitura de textos os recursos menos citados.

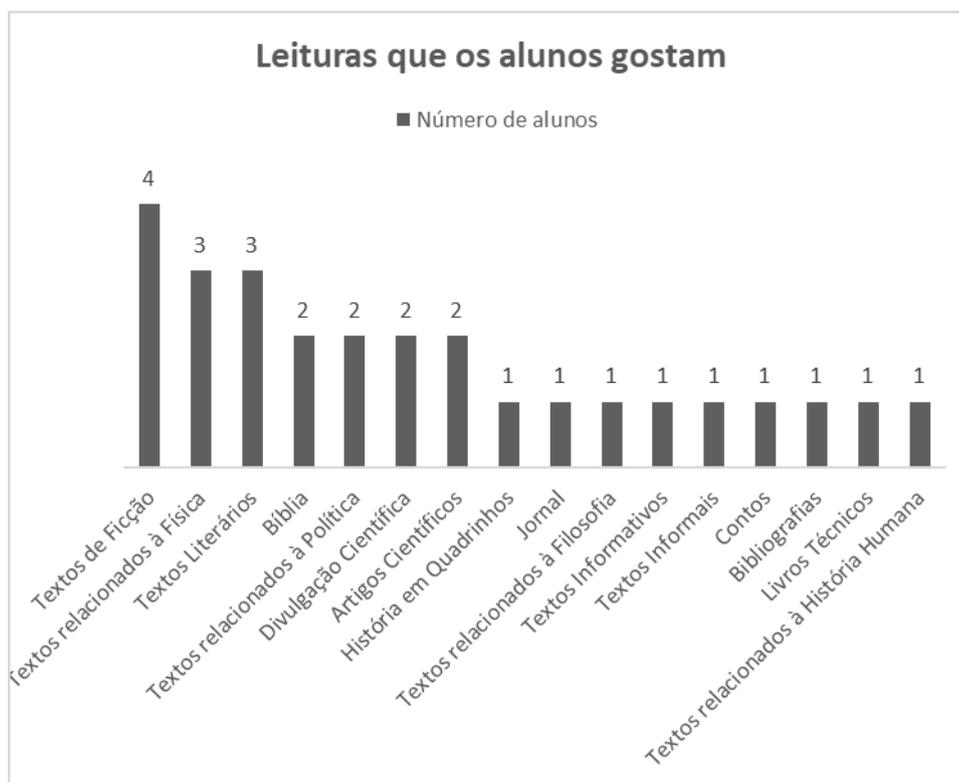
Sobre a questão do uso do livro didático para melhorar a formação cultural e/ou aprender física, os dados são interessantes: apenas 5% dos licenciandos, ou seja, um aluno, considerou que o livro didático poderia ser utilizado na formação cultural dos estudantes e, esses também atribuíram que ele poderia ser utilizado para aprender física, entretanto 12 alunos apontaram que utilizariam o livro apenas para que os estudantes do Ensino Médio aprendessem física. Outro dado interessante é que quatro alunos não citaram o livro didático em nenhuma das utilizações. Esses alunos nos levam a pensar que o contato que tiveram com o livro didático pode não ter sido interessante, a ponto de não quererem perpetuar o seu uso. Ao mesmo tempo o Ensino Superior, no caso estudado, o primeiro semestre do curso de licenciatura em física, aparentemente não oferece recursos capazes de mudar o imaginário desses alunos. Retomamos uma citação de Zambon e Terrazzan (2017, p.19), já citada nesse trabalho, no qual os autores dizem que os professores não se sentem preparados para utilizar o livro didático de uma forma que não seja para a simples leitura de conteúdos e resolução de exercícios e a formação inicial

apresenta falhas com relação a isso, visto que, no caso do curso de licenciatura em física é comum que os alunos recorram a esse material simplesmente com esse objetivo. Não é comum desenvolver atividades que mostrem outras possibilidades para o uso do livro didático e, por não terem esse conhecimento na formação, a nova estrutura dos livros didáticos, trazendo em seu corpo seções capazes de tornar a sua utilização mais dinâmica e interessante para os alunos, não é, muitas vezes, aproveitada.

### 5.5 Questionário referente à leitura de trechos de Livros Didáticos

O segundo questionário, aplicado na primeira aula, e poderia ser devolvido na segunda, foi respondido por 14 alunos. Desses, apenas dois afirmaram não gostar de ler e que realizam tal atividade por ser um dever e uma necessidade. No Gráfico 15, apresentamos alguns discursos citados pelos alunos como de interesse para eles.

Gráfico 15: Respostas dos alunos sobre o tipo de leitura que eles gostam de realizar



Fonte: Autoria própria

É possível inferir que os alunos não conseguem relacionar o tipo de leitura a que têm interesse com determinado tipo de discurso já consolidado. Por exemplo, muitos citaram os temas que gostam de ler como Física, Filosofia e Política, mas não se essa leitura ocorre por meio de artigos, livros de divulgação científica ou outros tipos. Tal

resposta apresentada pelos alunos não causa espanto, uma vez que grande parte da população escolhe um material de leitura a partir do seu tema.

O “tema ou assunto” influencia mais a escolha dos adultos e daqueles com escolaridade mais alta, atingindo 45% das menções entre os que têm ensino superior. Já a “capa” de um livro é o principal motivo de escolha na faixa etária entre 5 e 13 anos. Nas faixas etárias correspondentes aos ciclos da escolarização básica (Ensino Fundamental e Médio) as “dicas de professores” são mais influentes para aqueles que estão entre 5 e 10 anos de idade. (FAILLA, p. 195, 2016).

A importância do tema na escolha da leitura que será realizada vem sofrendo uma queda, em pesquisa semelhante Failla (2012, p. 286) notou que 65% das pessoas apontavam esse fato como principal na sua escolha, enquanto no ano de 2016 esse percentual caiu para 45%.

Além disso, chamamos atenção para o fato de duas alunos citarem “divulgação científica” como tipo de discurso de interesse, entretanto, como veremos mais adiante, no terceiro questionário, após trabalharmos com textos de divulgação científica, perguntamos aos alunos se esse recurso era o que eles esperavam e, essas duas alunas afirmaram não ser. Uma delas disse que acreditava ser um tipo de texto mais formal e a outra levantou a questão da confiabilidade da fonte trabalhada, que segundo ela não seria uma divulgação por não ser uma fonte confiável.

Embora nossa amostra seja pequena, tivemos dois alunos que disseram não gostar de ler, mas que o fazem por obrigação, além deles, temos o aluno Toni que, apesar de dizer que gosta de ler, quando perguntamos o que é de seu interesse respondeu:

Toni: *Sempre algo de meu interesse e curiosidade. Passando a ser obrigação, eu já perco o gosto por ler.*

Esse dado pode ser encontrado como uma barreira na leitura apontada por 8% da população no estudo “Retratos da leitura no Brasil - 3”, realizado em 2011 (FAILLA, 2012, p. 279) e por 3% no estudo “Retratos da leitura do Brasil - 4”, realizado em 2015, pela mesma autora (2012, p. 240) é a obrigatoriedade da leitura. Assim, podemos perceber que a leitura deve fazer parte da rotina, não apenas escolar, mas de vida da população, porém quando aparece como atividade obrigatória algumas pessoas podem apresentar uma recusa de realizar a atividade.

Outro dado apresentado por Failla (2012, p.214) e que nossos dados apontam para direção contrária é com relação à leitura da Bíblia. Segundo a autora esse tipo de discurso, em sua pesquisa foi o mais citado. Em nosso estudo, apenas um aluno o citou.

De forma semelhante, trabalhando com estudantes do Ensino Médio Brugliato (2013, p. 34-35) também notou a incidência desse tipo de discurso na resposta de apenas um aluno. Tal discrepância apesar de evidente, pode ser diminuída quando Failla aponta que “A Bíblia é o livro mais citado em quase todos os perfis socioeconômicos da pesquisa. No entanto, ela é mais citada entre os não estudantes, os de menor escolaridade e entre os mais velhos.” (p.214, 216). Porém, um dado que a autora apresenta e que não foi citado pelos estudantes desta pesquisa, nem pelos do Ensino Médio (BRUGIATO, 2013) foi o livro didático, o que é interessante se pensarmos que a nossa proposta tem como elemento central esse material e os alunos tendem a ter um contato maior com ele no ambiente escolar. Na pesquisa de Failla esse tipo de discurso aparece como o quinto mais citado, representando 16% das indicações. Para a autora “Contos e didáticos são os gêneros que se destacam entre os estudantes. Já entre aqueles com nível superior, livros técnicos, romances e didáticos aparecem com percentuais próximos ao da Bíblia.” (2012, p. 214). Chamamos a atenção para os contos e livros técnicos, também apresentados pela autora que foram citados, cada um, uma única vez pelos licenciandos da nossa pesquisa.

Outra pergunta que realizamos nesse questionário foi: “Por onde você estudava para as aulas de física no Ensino Médio? Você acha que esse recurso era o melhor para estudar física? Justifique”. A partir disso, elaboramos o Gráfico 16:

Gráfico 16: Recursos utilizados pelos licenciandos para estudar física quando estavam no Ensino Médio



Fonte: Autoria própria

Notamos que o livro didático foi o recurso mais citado pelos estudantes, o que pode indicar que os alunos já tinham um contato com esse tipo de discurso. Entretanto, quando questionados sobre a eficiência desse recurso, mais da metade deles disseram que não era o melhor recurso. Dois desses estudantes relacionaram a questão da leitura como um fator importante:

Fabrício: *Não é o melhor por muitos alunos do ensino médio ainda não gostarem de ler. E dependendo do texto, a leitura é até complicada.*

Ricardo: *[...] o texto dos livros por si só não era interessante.*

Outros alunos disseram que estudaram pelo livro, mas que acreditam que materiais que podem ser encontrados na internet poderiam ter sido de maior valia:

Renato: *Não, em meu ensino médio não tinha acesso a internet em que disponibilizava diversos conteúdos e vídeos.*

Thiago: *Não, acho que existem outros recursos como vídeo aulas por exemplo que ajudam muito.*

Por fim, tivemos o aluno Yago o qual sua justificativa conversa com a apontada pela aluna Bianca:

Yago: *Não, pois era uma abordagem muito superficial e vestibularizada.*

Bianca: *Depende do foco. Passar no vestibular, sim.*

Assim, podemos observar que os estudantes apresentam indícios de reconhecerem que determinados tipos de discurso podem apresentar o conteúdo de forma mais direcionada a alguns objetivos. Entretanto, buscamos com este trabalho mostrar que, apesar disso, a forma como a atividade é mediada pode modificar essas características. Além disso, a possibilidade de se trabalhar com diferentes recursos pode auxiliar nesse ponto e no desenvolvimento dos estudantes, como um próprio aluno destaca:

Luiz: *Naquela época satisfez as necessidades, porém diversos aspectos do conhecimento e crítica não foram despertados sobre mim em virtude talvez da omissão de outras maneiras.*

Buscando compreender as representações que os licenciandos têm do livro didático e de como eles produziram sentidos para a leitura que foi proposta na aula questionamos, após a leitura, o que eles tinham a favor e contra essa proposta.

Os sentidos produzidos pelos alunos foram diversos, o que já era esperado, uma vez que eles dependem das condições de produção, não apenas as imediatas, mas também as sócio históricas. Porém, notamos que seis licenciandos associaram o texto do livro didático com um texto informativo. Alguns deles destacaram que o texto era muito longo para se trabalhar no Ensino Médio, entretanto há de se destacar que a nossa proposta foi mostrar-lhes diferentes tipos de livros didáticos e, para um trabalho no nível Médio, a proposta seria resumida, possivelmente a um único livro, que é o que o PNDL se propõe a entregar para todas as escolas. Para ilustrar, apresentamos alguns discursos dos alunos:

Thiago: *A favor considero o conteúdo bem explicativo e bastante detalhado, porém algumas partes são muito extensas e tornam a leitura cansativa.*

Toni: *Tenho a favor que foi uma leitura muito informativa, porém há muitas informações em excesso, para um estudante do ensino médio não seria tão atraente.*

Alguns alunos chamaram a atenção para a linguagem em que o texto é escrito, uns a consideraram fácil, outros desinteressante:

Renata: *A favor tenho que é uma leitura simples e de fácil compreensão. Contra tenho que, alguns temas são citados rapidamente e não são aprofundados.*

Ricardo: *A favor: Foi uma leitura bastante informativa apresentando um discurso social sobre o tema. Contra: Muito longo, utiliza uma linguagem muito*

*desinteressante e as vezes apresenta conceitos avançados demais para uma leitura de ensino médio.*

Pensando que os livros utilizados nessa unidade de ensino eram destinados ao Ensino Médio, era esperado que os licenciandos achassem a leitura simples, embora não pudéssemos afirmar isso, uma vez que os dados estatísticos apresentados por Failla (2016) indicam que 39% da população da região sudeste é não-leitora (p.190). Claro que isso não implica que os não-leitores não saibam ler, apenas que eles não têm o hábito frequente de leitura, o que pode ocasionar dificuldades em ler alguns tipos de textos quando solicitado. Isso nos remete ao fato que os leitores podem não saber ler determinados tipos de discursos, uma vez que o processo de leitura necessita conversar com a história de vida e de leituras anteriores realizadas pelo sujeito.

Alguns estudantes questionaram a profundidade com que o texto abordou os conteúdos, segundo eles, o livro didático traz muitas informações, mas de forma superficial:

*Luiz: A favor o fato de que o conteúdo é bastante completo. Contra tenho o argumento de que o tema é proposto de maneira bastante expositiva, mesmo nos conteúdos históricos o que não faz o aluno elaborar uma representação sobre o tema.*

*Yago: Uma boa leitura para informação mas pouco demonstrativa de conteúdo científico, propriamente dito.*

O aluno Yago chama a nossa atenção pois, quando perguntamos se ele achava que o material pelo qual ele estudava (livro didático) era o melhor, ele já havia levantado a questão da superficialidade e, o texto apresentado para ele suscitou a mesma ideia de que faltam conteúdos científicos. Entretanto, destacamos que, por ser um material voltado ao Ensino Médio, embora os licenciandos aparentem ter uma ânsia pelo conhecimento mais aprofundado não podemos levar o tema de Física Moderna e Contemporânea de forma tão aprofundada ao Ensino Básico.

Por fim, sobre essa questão, o aluno Carlos faz um apontamento curioso:

*Carlos: Considerei o texto interessante, contudo para mim ele é em grande parte de divulgação científica, faltando em certo momento, algum rigor para lidar com o assunto, além disso é um pouco superficial.*

A colocação do aluno vai ao encontro do que comentamos sobre o discurso de Yago sobre a superficialidade, entretanto o aluno associa o livro didático com outro tipo de discurso, o da divulgação científica (DC). Nos adiantando, e buscando fazer uma

associação, na segunda aula ministrada pela autora da tese, os alunos foram convidados a ler trechos extraídos de DC, e quando questionado se o texto lido era o que o aluno esperava, Carlos respondeu:

*Carlos: Acreditei que seriam textos informativos que o intuito seria apenas a divulgação, sem preocupação com uma argumentação.*

Assim, analisando as respostas do aluno, podemos inferir que ele considera o texto do livro didático um texto apenas informativo e que não busca argumentar sobre o conteúdo.

Dando continuidade ao questionário escrevemos “Você vê diferenças desse livro que leu para a) outros livros didáticos; b) para histórias em quadrinhos; c) para livros de literatura; d) para textos de divulgação científica? Etc. Se sim, quais as principais diferenças que você apontaria?”. Começamos apontando uma falha em nossa questão. A forma como foi elaborada permite a compreensão de que cada aluno leu apenas o texto de um LD, entretanto, todos leram trechos de três livros e, possivelmente a compreensão deles sobre a questão pode ter sido comprometida, uma vez que seria difícil apontar diferenças de um conjunto de três textos para outros. Porém, alguns alunos fizeram apontamentos interessantes. Yago nos conflita com uma ideia oposta à apresentada por Carlos na questão anterior. Para esse aluno:

*Yago: Sim para DC (textos de divulgação científica), pois o texto se apresenta muito mais informativo de curiosidades do que uma divulgação científica, já que não aprofunda bem o assunto tratado.*

Lembrando que a questão era sobre o livro didático, temos indícios de que, para esse licenciando, os textos de DC tendem a ser mais aprofundados, diferente da representação apresentada por Carlos de que a DC teria como objetivo apenas divulgar o assunto sem aprofundamento.

Tivemos ainda, três alunos que não apontaram diferenças entre os textos que leram para outros livros didáticos, mas ainda os relacionando com os textos de DC, apontam que são textos parecidos.

*Natasha: Esse texto é de livro didático, de certa forma pode ser considerado de divulgação científica pois expõem em sua temática o assunto de Energia Nuclear mas adequado para o público do Ensino Médio. As diferenças para histórias em quadrinhos e livros de literatura é a abordagem e a escrita que não correspondem com esse tipo de leitura. Também não é um texto acadêmico mas diria que introdutório.*

Três alunos também apresentaram indícios de não compreenderem o que seria um texto de DC, como constataremos mais à frente. Esses alunos afirmam que acreditam que os trechos dos livros didáticos lidos são menos formais, ou ainda que são DCs.

Guilherme: *Não muito. Sim a HQ seria mais “descontraída”. Livros de leitura talvez não trariam uma linguagem tão técnica. Divulgação científica traria uma informação mais avançada e não seria destinada a alunos do Ensino Médio.*

Toni: *a) Nenhuma; b) mais informativa; c) uma informação mais técnica; d) menos técnica.*

Carlos: *Considero o texto de divulgação científica, acredito que é bastante diferente do HQ's por ser algo que não é ficção.*

Alguns alunos buscaram elaborar discursos mais completos sobre suas representações, como veremos um exemplo a seguir:

Luiz: *a) Ele é menos expositivo (mas ainda expositivo) superando as expectativas de um livro didático comum. b) o livro é bastante formal em relação a histórias em quadrinhos mas apresenta a exposição neste gênero quando utiliza-se de charges e do tom de humor. c) apresenta também o gênero literário. d) apresenta divulgação científica. Assim, a única diferença deste livro para os outros gêneros apresentados é que ele direciona seu foco ao aprendizado contextualizando-o através de uma maior gama de linguagens, tornando o tema científico atrativo a diversos leitores que não interessam-se exclusivamente por física e expondo-se por interdisciplinaridade.*

No caso do aluno Luiz, não temos parâmetros para verificar a quais livros ele se referiu ao dizer “um livro didático comum”, mas podemos inferir que a leitura foi interessante para a sua produção de sentidos. Cabe destacar que, embora todos os alunos tenham recebido trechos extraídos de três livros para a leitura, não temos como garantir que todos a efetuaram e nem que todos assimilaram que se tratavam de três livros diferentes. Analisando suas respostas temos que o estudante Luiz assimila o livro didático como um tipo de discurso formado pela soma de outros tipos, como alguns pesquisadores defendem (BRAGA E MORTIMER, 2003; RODRIGUES, 2007; STRIQUER, 2009; FARIAS E OLIVEIRA, 2013; SOUZA E ROCHA, 2015). Evidente que no livro didático aparecem outros tipos de discursos, entretanto isso não o descaracteriza como tipo próprio. Outro ponto que o aluno apresenta é que o livro didático é direcionado para o ambiente escolar. Esse material, como já apresentamos nesse estudo, passa por um

processo de elaboração e seleção que o torna adequado para essa condição de uso e, tem como leitor virtual alunos e professores.

Sobre o tema que escolhemos para trabalhar com esses licenciandos – Energia Nuclear – perguntamos se eles achavam relevante para se trabalhar na educação básica. Dos catorze alunos presentes, dozes disseram que sim e, com relação ao recurso utilizado e à atividade de leitura, alguns apontaram outras sugestões como excursões, apresentação de vídeos e a própria explicação do professor em sala de aula. Com relação aos dois alunos que disseram que o tema não era relevante temos:

Renato: *Por ser um tema bem complexo e com pouco valor significativo para os vestibulares mas pode ser trabalhado para estimular e motivar*

Carlos: *Talvez falte um pouco de rigor em certos momentos do texto ao tratar de certos conceitos, desta maneira, acredito que seria mais interessante focar a discussão no ponto mais conceitual e qualitativo.*

Por fim, neste questionário, perguntamos como eles contariam para outra pessoa sobre a leitura que realizaram. Nosso objetivo com essa questão era compreender os sentidos que foram produzidos por eles acerca dos conceitos apresentados, entretanto como iremos observar, diversos alunos (metade dos que responderam essa questão) associaram a pergunta com a forma com que eles abordariam o tema em ambiente escolar e não como esperávamos. Assim, obtivemos respostas como:

Thiago: *Explicaria da forma mais simplificada e fácil de ser compreendida, cortando os detalhes e deixando as perguntas a serem feitas, contudo, obviamente isso depende do grau de instrução da pessoa a entender essas informações, assim isso envolve variáveis também.*

Aline: *Da forma mais sucinta e simples possível. Diante de uma explicação simples e acessível, o indivíduo pode construir questões e curiosidades, onde posteriormente, ele próprio se torna autônomo afim de ir atrás de suas dúvidas e especulações sobre o assunto.*

Daniel: *Da forma mais simples o possível, fazendo analogias como se estivesse explicando para uma criança de 6 anos.*

Chamamos atenção aqui para o fato de que muitas vezes, na tentativa de simplificar demais um conceito podemos cair na banalidade, por exemplo, no discurso do Daniel que se refere à explicação como para uma criança de seis anos. De fato, o tema Energia Nuclear é um tema complexo e, se trabalhado de forma quantitativa, inviável para

o Ensino Básico. Entretanto, de forma qualitativa, os alunos do Ensino médio já possuem maturidade para compreendê-lo sem a necessidade de torná-lo lúdico ou banal.

Obtivemos ainda, algumas respostas voltadas para o conteúdo, como era o esperado por nós, mas bastante superficiais, mas que nos remetem aos processos de repetição, apresentados por Orlandi (2006). Alguns estudantes buscaram apresentar elementos que adquiriram a partir da leitura proposta, mas sem perder de vista a idealização de uma aula para o Ensino Médio.

*Yago: Explicaria descrevendo o processo de fissão nuclear e os benefícios e malefícios gerados, como formação de grande quantidade de energia e formação de lixo radioativo.*

*Natasha: Li um texto de um livro didático destinado ao Ens. Médio com a temática de energia nuclear, explicando aspectos positivos e negativos p/ utilização desse tipo de energia o posicionamento do Brasil e suas usinas nucleares os acidentes nucleares mas não focando no aspecto negativo como utilização de Bombas Nucleares mas sim em forma de energia.*

Com esses alunos, podemos notar que eles realizam um processo de repetição formal, no qual elaboram o seu próprio discurso a partir de elementos fornecidos pelo texto, mas trazem, em partes repetições empíricas como quando apresentam os benefícios e malefícios da energia nuclear. Nesse caso, a resposta seria muito mais rica se os alunos tivessem apresentado suas opiniões e discursado mais sobre os elementos levantados. Apesar disso, no enunciado de Natasha é possível fazer uma associação com a repetição histórica pois, embora a aluna apresente elementos presentes nos textos lidos, quando ela diz que não focaria “no aspecto negativo como utilização de Bombas Nucleares” podemos inferir que a aluna acredita que, ao levar para os estudantes do Ensino Médio questões negativas desse tipo de energia pode ter mais dificuldades em envolvê-los na disciplina ou ainda pode afastá-los, provocando um pré-julgamento.

*Renata: Explicaria simplesmente que a física nuclear estuda o núcleo dos átomos e suas propriedades.*

*Bianca: Basicamente: fusão: combinação de núcleos; fissão: quebra de núcleos. Ambos liberam energia.*

Percebemos, nesses exemplos, que os alunos recorrem a repetições formais. Assim, os estudantes organizam todas as informações que obtiveram com a leitura em uma frase própria sua, sem copiá-la do texto. Ao realizar esse processo, podemos

compreender que, para eles, mais importante que a produção de energia e como ela pode impactar na vida humana, está a noção do seu funcionamento, por isso, trazem elementos como estudo do núcleo e processos de fissão e fusão nuclear. Isso também pode ser devido às condições de produção, no caso aulas de física.

De forma geral, em nossos trabalhos, buscamos valorizar todas as formas de repetição, e não apenas a histórica. Acreditamos que o fato dos alunos selecionarem essa parte de tudo o que foi apresentado pode indicar que houve uma produção de sentidos introdutória, na qual ele não foi capaz, ou não quis, relacionar esse conhecimento com outros conceitos abordados.

*Ricardo: A energia nuclear e a radioatividade se tratam de fenômenos físicos e químicos que possuem a mesma origem, a matéria em si, mais precisamente os núcleos dos átomos. A energia nuclear é entendida como a energia que é liberada ao se quebrar um átomo em outros menores ou ao se formar um átomo maior com outros menores, fissão e fusão nuclear respectivamente. Tais eventos liberam uma quantidade muito alta de energia por grama, motivo que nos leva a utilizar essa energia apesar de seus inúmeros perigos a vida.*

*Renato: A energia nuclear possui suas vantagens e desvantagens e esta atividade pode gerar grandes riscos ao meio ambiente em caso de erros e acidentes. É uma forma de produzir energia sem emissão de gases poluentes e bastante eficaz. Uma usina nuclear produz muita energia através da fissão nuclear que gera energia aquecendo a água produzindo vapor e este vapor passara por uma turbina que logo depois se inicia o processo de armazenamento de distribuição de energia elétrica. Os grandes problemas desta forma de produzir energia é que produz lixo toxico radioativos e em caso de erros e acidentes pode encadear uma explosão ou vazamento de material radioativo gerando grande desastre no meio terrestre e marinho.*

Com relação ao discurso do Renato, analisaremos mais detalhadamente na seção 5.8. Já sobre o de Ricardo, quando o aluno associa energia nuclear com radiação podemos entender de duas formas, a primeira é que se trata de uma repetição formal do livro Física em contextos (2010), uma vez que o aluno pode se basear no trecho “Toda essa carga negativa gerou nas pessoas certo medo e desconfiança em relação a tudo o que se relaciona à radiação e à questão nuclear[...]” (PIETROCOLA *et al*, 2010, p. 439). No trecho o autor coloca a energia nuclear associada à radiação podendo o aluno ter atribuído esse sentido de origem em um mesmo ponto. Outro entendimento é que pode se tratar de

uma repetição histórica na qual o aluno já conhecia sobre o assunto e dado algum elemento de sua história de vida pode ter feito essa relação em um momento anterior ao da aula.

Da mesma forma temos a relação que o aluno faz para explicar fissão e fusão nuclear, seu enunciado por ser uma repetição formal de um ou de um apanhado de informações de dois ou dos três trechos propostos. O que chama a nossa atenção nesse ponto é o fato do aluno não citar o processo de reação em cadeia, conceito fundamental para se conseguir produzir uma grande quantidade de energia e presente em todos os trechos indicados.

Outro ponto que chama a nossa atenção é quando o aluno traz a questão das emissões gama. O termo é abordado no livro “Física para o Ensino Médio” (2010), entretanto há um equívoco na produção de sentido pelo aluno. Não se trata de uma “quantidade muito alta de energia **por** gama” (grifo nosso), a emissão gama é um tipo de radiação eletromagnética com alta capacidade de penetração na pele dos seres vivos e não um processo de liberação de energia. Possivelmente o aluno realizou tal associação devido à disposição do texto no livro indicado, em que o tópico “emissões gama” antecede os tópicos relacionados à fissão e fusão nuclear, dando margem, quando não se lê o texto de forma integral, a entender que se trata de um subtópico, ou seja, fissão e fusão nuclear estariam dentro do tema emissões gama.

Por fim, sobre os inúmeros problemas à vida que o aluno indica, pela falta de especificidade com relação a quais seriam esses problemas, não temos como afirmar se ele realizou uma repetição formal de todos os trechos ou se é uma repetição histórica, podendo ainda ser apenas relacionada com uma questão de senso comum.

## **5.6 Questionário referente à leitura de trechos de Divulgações Científicas**

A atividade de leitura dos textos de DC aconteceram na segunda aula e o questionário poderia ser entregue no dia ou na aula seguinte. Apresentamos na Tabela 1 a relação entre os alunos que participaram da atividade nesse dia e o texto que eles efetuaram a leitura.

Tabela 1: Relação dos textos lidos por cada estudante

<b>Nome fictício dos licenciandos</b>	<b>Texto de DC recebido em sala de aula</b>
Renato	Revista Usp - Hussein
Fabrizio	Revista Galileu
Rafael	Revista Galileu
Marcelo	Revista Usp - Hussein
Paulo	Revista Usp - Hussein
Natasha	Revista Galileu
Camila	Revista Usp - Hussein
Yago	Revista Galileu
Ismael	Revista Galileu
Thiago	Revista Usp - Hussein
Daniel	Revista Usp - Hussein
Toni	Revista Usp - Hussein
Jean	Revista Usp – Goldemberg
Aline	Livro Energia Nuclear
Guilherme	Livro Energia Nuclear
Bruno	Revista Usp – Goldemberg
Ricardo	Ciência hoje
Luiz	Revista Galileu
Carlos	Revista Usp – Goldemberg
Baltazar	Livro Energia Nuclear

Fonte: Autoria própria

Primeiramente perguntamos aos alunos “Quando falamos em ler uma divulgação científica, que tipo de material você achou que fosse?”. Queríamos, com essa pergunta verificar a representação que os estudantes tinham desse tipo de discurso. Dos 14 alunos que responderam ao questionário nesse dia, apenas um aluno disse que achava que seria um material como o entregue.

*Luiz: Este mesmo, trecho ou reportagem em revista científica, que propõe determinado conteúdo (descoberta científica ou conteúdo de avanço científico) perante a um problema da atualidade (no caso, período de agosto de 2005).*

O aluno efetuou a leitura do trecho extraído da revista Galileu sobre a Bomba Atômica. Notamos que o aluno se refere à revista como uma revista científica, passando uma ideia de confiabilidade, situação oposta da que encontramos no enunciado de Natasha:

*Natasha: Esse tema específico acho que foi bem trabalhado na revista Galileu, mas não considero uma fonte de divulgação científica confiável.*

Os demais alunos se posicionaram de forma a evidenciar que acreditavam que seria outro tipo de texto, mais formal e com uma linguagem mais científica, apresentamos alguns exemplos que podem ser extrapolados para os demais.

Baltazar: *Algo como um artigo*

Toni: *Algo do tipo como uma dissertação de mestrado*

Marcelo: *Um texto que divulgasse uma pesquisa ou um experimento*

Aline: *Pensei que fosse um texto mais formal*

Com isso, temos indícios de que os licenciandos em física não tinham conhecimento sobre o que seria um texto de DC. Tal constatação pode justificar a relutância deles em propor o uso desse recurso como atividade para o ensino de física, uma vez que o julgavam como um texto mais difícil de se ler e, conseqüentemente, mais complexo para estudantes do Ensino Médio que, como aponta Failla (2012; 2016), possuem limitações com relação à leitura.

Apesar da maioria dos estudantes dizerem que achavam que seria outro tipo de material, dez dos alunos afirmaram que o texto atendeu suas expectativas, o que é controverso já que eles tinham a representação de um outro tipo de texto. Apenas um estudante afirmou que o texto superou suas expectativas:

Carlos: *O texto superou minhas expectativas pois ele traz dados e fundamenta muito bem a discussão.*

Dos outros três estudantes que disseram que o texto não atendeu as suas expectativas, dois aparentam terem sentido falta de conceitos e elementos físicos no material. Já o terceiro foi coerente com sua resposta anterior, dizendo que esperava um texto mais técnico.

Toni: *Não, esperava que fosse mais técnico.*

Guilherme: *Não, esperava que traria muito mais informações sobre o assunto, porém o texto foi bom nos termos de leitura.*

Rafael: *O texto apresentado é relacionado com a história, pois trata do caminho que a bomba atômica teve até chegar a sua criação, e seu uso. Eu esperava que fosse um texto de divulgação científica mais relacionado a parte de Física.*

Com relação à falta de conteúdos físicos nos textos, recorremos a pesquisadores que apontam questões como “A divulgação científica é uma maneira indispensável de fazer com que a ciência seja acessível às pessoas que não têm formação científica.” (DAMASIO; TAVARES, 2011, p.1) ou ainda “Com isso, buscam apresentar

novidades científicas e tecnológicas utilizando uma linguagem mais próxima do cotidiano dos leitores não especialistas [...]” (NASCIMENTO, 2005, p.133). Queremos com isso evidenciar que o tipo de discurso da DC não tem o objetivo de apresentar conceitos físicos da forma como os estudantes possivelmente estavam esperando. A ideia é tornar o conceito o mais próximo do público em geral e que não tem conhecimentos próprios da área. Ao trazer elementos próprios da área e/ou com mais definições, e, no caso da física, linguagem matemática, possivelmente, o texto seria descaracterizado passando a constituir um outro tipo de discurso, como é o caso dos artigos científicos.

Dando continuidade ao questionário, elaboramos uma pergunta próxima à que fizemos no questionário referente ao livro didático, pedindo que os estudantes comentassem sobre a leitura que fizeram “Muita gente ainda tem dificuldade em temas relacionados com a Energia Nuclear. A partir da sua leitura, como você escreveria sobre o tema para uma pessoa que não entende do assunto? ”

Assim como no caso anterior, parte significativa dos alunos não abordou questões próprias da leitura realizada e nem dos conceitos apresentados. Seis dos alunos que responderam ao questionário ofereceram respostas nesse sentido, das quais apresentamos algumas:

Marcelo: *Escreveria de uma forma mais lúdica, como se eu estivesse conversando com o leitor, usando também uma linguagem formal, porém mais comum ao universo do estudante.*

Toni: *Com básicos conceitos e apenas uma pincelada no assunto*

Guilherme: *Começaria com temas mais simples, mostraria conceitos de química e da geração de energia, juntamente com os acontecimentos históricos ligados a energia nuclear.*

Notamos, principalmente no discurso de Guilherme que o aluno, possivelmente, não fez uma leitura buscando produzir sentidos sobre o que estava lendo. As atividades, para ele tinham como foco o ensino e formas de levar o tema para a sala de aula. Então, pensando nessa situação e acreditando que era esse o esperado o licenciando buscou estruturar uma sequência para sua aula. Isso pode ter ocorrido devido a uma noção intitulada *mecanismo de antecipação* (ORLANDI, 2003) na qual o sujeito que formula seu discurso idealizando o que seu leitor (ou ouvinte) espera ou quais sentidos ele pode produzir a partir do seu dizer.

[...]todo sujeito tem a capacidade de experimentar, ou melhor, de colocar-se no lugar em que o seu interlocutor “ouve” suas palavras. Ele antecipa-se assim a seu interlocutor quanto ao sentido que suas palavras produzem. Esse mecanismo regula a argumentação, de tal forma que o sujeito dirá de um modo, ou de outro, segundo o efeito que pensa produzir em seu ouvinte. (ORLANDI, 2003, p.39)

Apresentamos agora alguns discursos mais relacionados com conteúdo ou elementos dos textos lidos:

*Aline: Energia Nuclear é a exposição incontrolada no ambiente de determinado elemento químico radioativo; que, ao contato com os indivíduos e com o próprio ambiente, leva a contaminação de ambos; por um grande período de tempo e à morte. Um elemento químico radioativo não exposto, é utilizado na medicina e em tecnologias de maneira controlada.*

A aluna leu o trecho extraído do livro “Energia Nuclear” (PORTELA, LICHTENTHÄLER FILHO, 2000), entretanto, as colocações que a aluna apresenta tratam de uma repetição histórica visto que os elementos não aparecem no texto. Além disso, podemos evidenciar um equívoco quando ela coloca que a “Energia Nuclear é a exposição incontrolada no ambiente de determinado elemento químico radioativo[...]”, essa frase indica que a aluna não produziu os sentidos esperados com a leitura dos materiais propostos, não tendo na segunda aula sobre o tema compreendido o que é a Energia Nuclear. O material de divulgação apresentado para a aluna pode ter contribuído para isso, uma vez que por ser mais lúdico e apresentar, na parte que se aproxima de um texto literário, pouca coisa sobre conceitos físico-químicos e pode não ter esclarecido algumas dúvidas da aluna. Além disso, o material era muito focado na radiação, por abordar o acidente com Césio em Goiânia, o que pode ter permitido essa relação entre energia nuclear que era um tema que estava perpassando as aulas com a radioatividade que era o tema mais evidente em seu texto.

*Bruno: Falaria que há estruturas muito pequenas, no caso átomos, e explicaria que quando essas estruturas elas “quebram” soltam energia e esquentam a água e gera vapor que giram turbinas.*

Bruno leu o texto “O futuro da energia nuclear” (GOLDEMBERG, 2011), extraído da Revista USP. O enunciado do aluno indica elementos de uma repetição histórica quando ele fala sobre o átomo. A ideia da liberação de energia advém, possivelmente de um box intitulado apêndice presente no texto, no qual aparece o seguinte trecho “A fonte da energia nuclear é a desintegração dos núcleos de átomos de

urânio, que libera uma quantidade considerável de energia[...]” (p. 14). Por fim, o processo relacionado à água e ao movimento da turbina também consiste em uma repetição formal do texto na qual o autor busca explicar o funcionamento de uma termoelétrica nuclear, segundo o autor

É possível também “queimar” o urânio lentamente, o que aquece a centena de graus as barras de urânio. Nos reatores a água fervente (BWR), a água circula em torno dessas barras, retirando seu calor, e se converte em vapor superaquecido, que aciona uma turbina, gerando eletricidade da mesma forma que uma termoelétrica convencional[...] (GOLDEMBERG, 2011, p. 15)

Assim, temos que o autor apresenta um outro uso para o urânio que o aluno associou como o mesmo processo de liberação de energia.

Camila: *Explicaria brevemente fusão e fissão, sobre o porquê do urânio e o que significa enriquecê-lo.*

A aluna leu um texto extraído da mesma revista que Bruno, entretanto de outro autor. O texto de Camila foi o “Energia Nuclear” (HUSSEIN, 2011). Notamos que a aluna não explica exatamente o que ela contaria, o que torna uma análise difícil de se realizar, entretanto, quando ela traz o “porquê do urânio” podemos associar com o texto que traz uma seção intitulada “Por que Urânio?”

Rafael: *A área de física que estudo o átomo e suas relações começou a se desenvolver principalmente a partir do século 20, onde devido a necessidade do entre-guerras, o estudo da energia nuclear começou a se desenvolver.*

Já Rafael leu o texto extraído da Revista Galileu, uma DC mais fácil de ser encontrada em circulação. A ausência de elementos relacionados à Física no enunciado do aluno se justifica pela também escassez dele no texto apresentado, assim como a importância dada para questões relacionadas às guerras, o que, de fato auxiliou o desenvolvimento dos estudos na chamada “corrida armamentista”.

Considerando que, no questionário inicial, poucos alunos associaram os textos de DC como possível recurso para o ensino/aprendizagem de física, após a leitura realizada perguntamos “Sobre ler material de divulgação científica: Você acredita que essa leitura possa auxiliar no aprendizado de física?”, obtivemos unanimidade afirmativa entre os alunos. Complementando nossa pergunta, pedimos que eles apontassem em que sentido poderia ser feito o uso desse recurso:

Rafael: *Ajuda o aluno a se conectar com o assunto, pois trata deste com um jeito de relacionar o tema com o mundo*

Bruno: *Sim, e muito, pois a pessoa que lê cria noção sobre tal conteúdo e informa sobre o que é possível fazer com conhecimento, talvez também despertar a curiosidade*

Por fim, a última pergunta que realizamos nesse questionário foi: “Você acha que o material pelo qual estudou nessa aula é relevante para ser trabalhado no Ensino Médio? Se não, por que? Se sim, com que finalidade e em que momento?”. Assim como na questão anterior, tivemos unanimidade na resposta afirmativa dos alunos. Alguns mantiveram o posicionamento relacionado com motivação e curiosidade:

Marcelo: *Com a finalidade de fazer com que os alunos saibam isso como uma curiosidade e de acrescentar um conhecimento a mais do que eles já teriam em solo.*

Toni: *Mais na história da ciência, em um momento de curiosidade.*

Outros apontaram para o tema abordado pelo material, envolvendo energia e questões nucleares.

Jean: *Para mostrar ao aluno sobre questões energéticas atuais e também mostra-lo onde a física e o estado da matéria entra nesse assunto*

Baltazar: *Para tratar de física moderna, deve ser apresentada como algo complementar e de maneira atrativa ao aluno.*

O enunciado de Baltazar nos remete à ideia de que a física moderna ainda é vista como conteúdo supérfluo sendo assumido como atividade complementar quando se pensa no EM.

Camila: *Sim, para cultura geral. É importante as pessoas conhecerem mais sobre processos nucleares.*

Dois alunos chamaram nossa atenção em seus discursos, são eles a Aline e o Rafael:

Aline: *Sim, com a finalidade de adquirir conceito, porém este pode ser um texto alternativo, pois talvez não tenha tantos detalhes quanto os que o professor deve propor, tendo uma visão mais conteudista em que ele (o professor) deve cumprir.*

Rafael: *Sim, pois relacionam diversos assuntos ministrados em física e também na história, promovendo a interdisciplinaridade.*

A aluna Aline aponta para a questão da cobrança que recai sobre os professores e a ideia de que eles têm que passar o conteúdo e uma atividade envolvendo leitura não seria abordar o conteúdo, mas sim uma atividade complementar. Ainda na linha de pensar as “obrigações” do professor com relação ao conteúdo temos Rafael que

parece ter em seu imaginário a ideia de que abordar elementos históricos é responsabilidade de outros professores que não o de física. Evidente que uma proposta com essas características permite uma atividade interdisciplinar, entretanto o professor de física pode abordar questões históricas e diversos estudos já apontam sua validade há anos (PRADO, 1989; METTHEWS, 1995; NEVES, 1998; MOREIRA, MASSONI, OSTERMANN, 2007, MENDES, BATISTA, 2017, entre outros). Assim, os alunos apontam para a imagem que algumas pessoas podem ter de que o professor deve seguir um cronograma e uma metodologia rígida e centrada em sua disciplina e seus conteúdos.

### **5.7. A proposta de aula**

Na última aula de aplicação do projeto, foi solicitado que os alunos, em duplas ou trios, elaborassem uma proposta de aula com base em um roteiro apresentado no Apêndice VI. Vamos apresentar aqui as produções dos estudantes de maneira geral.

Embora toda a proposta desenvolvida pela professora-pesquisadora tenha sido sobre Física Moderna e Contemporânea (FMC), quando convidados a elaborar a proposta de aula, apenas dois grupos escolheram esse tema. Outros assuntos escolhidos foram: Estudo dos gases e termodinâmica, calorimetria, eletromagnetismo e história da ciência. Isso chamou nossa atenção, uma vez que, mesmo após três semanas de contato com o assunto os estudantes não se sentiram confortáveis, ou não acharam relevante, abordar esse tema, embora nos questionários anteriores eles tenham falado que a FMC era válida para se trabalhar no Ensino Médio. Isso pode ter acontecido pelos alunos não terem tido contato com a FMC no seu ensino médio e, ainda também não na universidade.

Outro elemento que chamou nossa atenção pela não conformidade com relação aos questionários anteriores foram os recursos que os estudantes utilizariam em suas aulas. Neles, todos os alunos consideraram que a DC poderia ser utilizada em sala do Ensino Básico, já na proposta de aula, apenas dois dos seis grupos a citaram. Outros dois grupos disseram que utilizariam leituras diversas; um propôs um “pré-texto” sem estipular o seu tipo de discurso; na proposta desse grupo, a leitura desse texto seria para nivelar os alunos de forma que, ao apresentar os conceitos em sala todos estivessem em um mesmo nível podendo discutir; o outro, o uso de um poema (Fernando Pessoa, Tabacaria), textos diferentes (sem especificação) e o texto ““Lectures”, Feymann 1º cap., 2º tópico”. A especificidade com que os estudantes do segundo grupo trouxeram dos

recursos indica três opções. A primeira que essa proposta de aula já havia sido previamente estabelecida em alguma outra disciplina; a segunda, que algum integrante do grupo teve, em um momento anterior, uma atividade desse modelo desenvolvida colaborando para suas condições de produção e; a terceira que eles gostam de assuntos voltados à história da ciência e têm o costume de ler esse tipo de material, possivelmente apresentando um bom domínio sobre o assunto e seus recursos.

Com relação ao ensino mais tradicional, centrado no uso de lousa e do livro didático, esses recursos apareceram em quatro grupos.

Os objetivos que os estudantes apresentaram para suas propostas de aula contêm elementos muito semelhantes, o que nos leva a acreditar que eles tenham tido, ao longo do semestre, alguma atividade relacionada com a elaboração desse tipo de questão. Encontramos todos os grupos (um deles não colocou objetivo) termos como “introduzir” e/ou “discutir” determinado assunto. Além disso, dos cinco grupos que apresentaram objetivos para sua aula, três destacaram a ideia de “motivar” e “despertar o interesse” dos alunos:

Renata e Marcelo: *Despertar no aluno o interesse pelo conteúdo e consequentemente que seja possível aprender o proposto.*

Camila e Gustavo: *Introduzir o assunto e despertar a curiosidade.*

Yago e Ricardo: *Discutir qualquer assunto relacionado à física para causar curiosidade e motivar os estudos.*

Com relação aos procedimentos que seriam utilizados para dar andamento à aula, apenas um grupo não trouxe o recurso “discussão”.

Renata e Marcelo: *Realizar demonstração na frente da sala, fornecer material e aplicar questionários.*

Esses alunos propuseram como recursos a serem utilizados Textos de DC, músicas, simulações e experimentos. Seus procedimentos parecem se limitar à apresentação de uma aula com experimentos o que embora inicialmente aparente não ser um recurso condizente com os objetivos que eles apresentaram para a aula, a realização de uma demonstração na frente da sala pode sim ser o suficiente para “despertar no aluno o interesse pelo conteúdo”. Para Araújo e Abib (2003):

Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, amplamente utilizada pelos autores pesquisados e que visam principalmente a ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados na medida em que essa modalidade pode ser

empregada através de procedimentos que vão desde uma mera observação de fenômenos até a criação de situações que permitam uma participação mais ativa dos estudantes, incluindo a exploração dos seus conceitos alternativos de modo a haver maiores possibilidades de que venham a refletir e reestruturar esses conceitos. (p. 190)

Outro grupo não apresentou o termo “discussão”, mas é possível supor que ele estaria presente na aula através do diálogo entre o professor e os alunos:

Camila e Gustavo: *1. Utilizar os conhecimentos prévios dos alunos, perguntando o que eles sabem sobre o assunto abordado; 2. Demonstrações matemática; 3. Relacionar os conteúdos abordados com o cotidiano do aluno.*

Os demais grupos, trouxeram a ideia de discussão com os alunos como parte da proposta da aula, associada a outras atividades como realização de experimentos, simulações na plataforma PHET, exercícios e teoria em lousa, exposição de filmes e leituras diversas.

Quando perguntados sobre o método avaliativo, nenhum grupo se limitou à prova de exercícios, embora ela tenha aparecido em quatro, das seis propostas, ela era acompanhada de outras formas avaliativas como as discussões em sala, arguições, e atividades práticas. Dois grupos não indicaram que utilizariam essa proposta avaliativa:

Yago e Ricardo: *Participação na aula e o aluno gravar um vídeo realizando o experimento aplicando os conceitos abordados.*

Aline, Natasha e Luiz: *Discussão em sala sobre o assunto abordado. Redação dissertativa sobre o assunto; expondo sobre seu entendimento do assunto.*

As propostas de aulas elaboradas pelos estudantes são simples, possivelmente por termos pedido algo nesse sentido, uma vez que não sabíamos se esse representaria o primeiro contato de muitos deles com essa atividade. Entretanto, foi possível evidenciar algumas questões importantes, dentre elas a dificuldade que a FMC tem de fazer parte do cotidiano escolar e a resistência em modificar as aulas e seus processos avaliativos.

## **5.8. As respostas de dois alunos**

Vamos agora acompanhar dois alunos ao longo dos questionários aplicados nas aulas e da atividade proposta. O critério de escolha foi por aqueles que tivessem elaborado o plano de aula, solicitado na última aula, juntos e tivessem participado de todas as aulas anteriores e assinado o termo de consentimento livre e esclarecido. Assim, selecionamos os alunos Fabrício e Renato. Esses alunos têm perfis bem diferentes.

Fabrcio, embora no atue, jรก cursou licenciatura em Matemรกtica e 茅 concursado em um posto de saude da rede municipal de Campinas. Renato estava em sua primeira graduao e no trabalhava.

Acompanharemos primeiro Fabrcio. Na primeira questao

Imagine-se organizando uma aula de ffsica para o Ensino Mfdio. Comente como voca acha que poderiam ser utilizados os seguintes recursos e qual a importancia e possfveis problemas dessa utilizao:

a) Livro didatico: *Serviria como base para as aulas e como uma grande ajuda p/ o aluno quando no tiver alguem por perto dele.*

b) Exercfcios semelhantes a outros ja resolvidos em classe pelo professor e c) Problemas: *serviriam para o aluno praticar para a prova e para fixarem os conceitos vistos em sala de aula*

d) Textos de Divulgaao cientffica, e) Textos literarios, f) Textos de histria da ciencia e g) Histrias em Quadrinhos: *seriam usados como motivao para o aluno querer aprender sobre o tema e tambem servir como uma curiosidade para eles.*

h) Material para aulas experimentais, i) Vdeos e l) Computador: *seriam usados de vez em quando (quando o tempo e as condicoes permitirem) para ser como uma forma de ensinar para os alunos*

j) Sua voz em uma aula expositiva e k) Giz para escrever na lousa: *seriam as formas mais usadas para o ensino de ffsica poro no devem ser usados de forma que o aluno sinta que a mataria seja enfadonha.*

Percebemos que o aluno coloca o livro didatico como base para as aulas, ressaltando a importancia que ele atribui para esse recurso. Notamos que esse foi o unico recurso que o aluno respondeu de forma isolada, sem associar com nenhum outro. Ja a DC foi associada a outros tipos de leituras, como objeto de curiosidade e motivao.

Com essa primeira questao, respondida antes de qualquer atividade relacionada com este estudo, podemos perceber que o livro didatico e visto por ele como um recurso presente em sala de aula e tambem como apoio para estudo. Tal importancia ja era esperada, pois o livro didatico possui um carater social, cultural e historico muito marcado no ensino como destaca Martins (2015). Como ja dito, esse recurso perpassa os

diferentes níveis de ensino, tanto da Educação Básica quanto do Ensino Superior e, tendo o aluno já cursado uma licenciatura, pode ter tido um contato maior com o livro, trazendo a ideia de auxiliador do estudo com relação ao conteúdo e não apenas como depósito de exercícios a serem resolvidos como aponta Zambon e Terrazzan (2017) e diversos outros autores. A ênfase no livro didático como objeto para se aprender conteúdos é dada quando perguntamos “Que tipo de recurso(s), como os apresentados acima, você utilizaria em uma aula de física para: b) Aprender conceitos físicos”

Fabrizio – *Livro didático, problemas, material para aulas experimentais, vídeos, giz para escrever na lousa e computador.*

Já a DC, notamos que ela não é vista como fonte de conhecimento em física. Isso fica claro quando, na mesma pergunta, nos referimos à formação cultural e nesse caso o aluno responde:

Fabrizio – *Textos literários, textos de divulgação científica, textos de história da ciência, histórias em quadrinhos e vídeos.*

É possível notar que todos os textos que fogem ao livro didático aparecem com o objetivo de melhorar a formação cultural do aluno.

Quando perguntamos “Por onde você estudava para as aulas de física do Ensino Médio? ”, a resposta de Fabrizio já era esperada, o aluno disse estudar pelo livro didático. Entretanto, quando perguntamos “Você acha que essa forma de estudar era a melhor? ”, obtivemos:

Fabrizio – *Não é o melhor por muitos alunos do ensino médio ainda não gostarem de ler. E dependendo do texto, a leitura é até complicada.*

Aqui o aluno traz um ponto importante de ser considerado. Quando ele diz que muitos alunos não gostam de ler, a pergunta que fazemos é: não gostam de ler ou não gostam de ler os materiais propostos na escola?

Dando continuidade a esse questionário, perguntamos “Aqui você leu um trecho extraído de livro didático. a) O que tem a favor e contra essa leitura? ”

Fabrizio – *É um trecho interessante, de fácil leitura e bem informativo.*

Anteriormente, o aluno havia comentado que, algumas vezes, a leitura do livro poderia ser complicada, tínhamos o receio de ele confirmar isso após ler os trechos que selecionamos, embora o fato de ele ter achado a leitura fácil possivelmente seja por se tratar de trechos extraídos de livros do Ensino Médio e oferecidos para alunos de graduação, no caso dele, cursando a segunda graduação. Assim, a história de vida e de leituras que ele possuía no momento que efetuou a leitura é diferente da que ele tinha quando cursou esse nível. Ou seja, não podemos afirmar que os livros apresentados seriam de fácil leitura para alunos do Ensino Médio. Embora sejam escritos tendo esses alunos como leitores virtuais, não há garantias de que o leitor real dialogará com o material da forma como seria esperado.

Pensando nos tipos de discursos perguntamos “Você vê diferenças desse livro que leu para outros livros didáticos, para histórias em quadrinhos, para livros de literatura, etc.? Se sim, quais as principais diferenças que você apontaria?”

Fabício – *Para outros livros didáticos, não. Porém para outras leituras, existem diferenças por não ocorrer de forma extremamente explícita uma história sendo contada (como o livro de literatura) ou de ter uma linguagem bem mais acessível e não tão formal como um texto de divulgação científica.*

Quando o aluno diz que não vê diferença entre a leitura que ele fez para outros livros didáticos podemos assumir duas interpretações. A primeira é que, como eles receberam trechos extraídos de três livros didáticos, algumas diferenças que poderiam existir foram abordadas ao longo da leitura. Outra opção é que o livro didático tem uma estrutura particular, facilmente detectada e, embora apresentem algumas diferenças quanto estrutura, linguagem e diagramação, a essência deles se mantém inalterada, o que garante que ele seja tido como um tipo de discurso. Com relação aos outros tipos de discursos, o aluno possui a concepção de que a leitura do livro didático é diferente. No fim de sua resposta, quando ele fala sobre a DC, temos a impressão de que associa divulgação científica com artigos científicos. Isso porque Fabício aponta que o livro didático teria uma linguagem mais acessível e não seria tão formal quanto a divulgação e, como vimos, o objetivo da DC é ser um material para diferentes públicos e ser escrita em linguagem acessível, fugindo da ideia do artigo científico que tem como leitor virtual pessoas com conhecimentos na área. Essa concepção ganha força quando, após a leitura

do material de DC, cujo texto lido por Fabrício foi “O futuro da Energia Nuclear”, de José Goldemberg, publicado na Revista USP, perguntamos “Quando falamos em ler uma divulgação científica, que tipo de material você achou que fosse?”

Fabrício – *Um material de conteúdo formal que contém divulgação de dados e de pesquisas.*

Embora quando o aluno diz que achava que seria um material com divulgação de dados e de pesquisas ele concorde com a ideia que ele associa DC com artigos científicos, ele afirma que a leitura atendeu suas expectativas. Assim, acreditamos que, embora a DC que lhe foi apresentada tenha alguns dados, não se trata de uma pesquisa acadêmica e sim de uma abordagem e um tema específico – Energia Nuclear. A leitura lhe agradou, e quando perguntamos como ele contaria sobre o que leu para alguém que não entende do assunto obtivemos:

Fabrício – *Que a energia nuclear surgiu a partir dos anos 50 como um subproduto de desenvolvimento de armas nucleares na 2ª Guerra Mundial. Ela é produzida a partir do processo de fissão nuclear (núcleo de um átomo “explode”) do urânio. A fissão de um átomo faz ocorrer uma reação em cadeia enorme produzindo uma grande quantidade de energia. Os benefícios dos uso da Energia Nuclear são de que: baixo impacto ambiental e não é necessário usar muito urânio para produzir muita energia. Os malefícios são de que é uma energia cara de fazer e que quando ocorrem acidentes, as consequências são gigantes.*

A primeira frase do aluno é uma repetição empírica do box presente no texto lido. Entretanto, na transposição o aluno comete um equívoco, possivelmente, na tentativa de torná-la uma repetição formal. O autor coloca que “O uso da energia nuclear para a produção de eletricidade foi um subproduto do desenvolvimento das armas nucleares com fins militares durante e após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945)” (p.14). Assim, a energia nuclear como fonte de energia elétrica começou a ser estudada na década de 40, e não 50 como o aluno aponta, embora essa data estimada por ele seja coerente com a análise dos dois primeiros gráficos apresentados na página 10 que remetem aos reatores em operação e em construção. Provavelmente o aluno não conseguiu compreender que se tratavam de momentos diferentes. A explicação do aluno para o processo de fissão nuclear como o átomo explodindo não se encontra no texto de DC lido por ele, o que temos é uma

figura na qual o átomo se desintegra em duas partes, e ele pode ter tentado explicar essa imagem.

Quando o aluno apresenta os benefícios e malefícios do uso da energia nuclear, temos que ele faz uma repetição formal do texto. Os malefícios estão perpassando grande parte do texto, que aborda alguns acidentes com os reatores nucleares e aponta frequentemente que se trata de uma energia cara e que tende a encarecer ainda mais se adotadas novas medidas de segurança. Os benefícios que apresenta o aluno, se limitam aos dois últimos parágrafos do texto, quando o autor diz “Uma das características mais interessantes da geração de eletricidade com reatores nucleares é a pequena quantidade de combustível necessária para a operação das usinas.” (p.15), e “A produção de energia nuclear não resulta em emissões de gases responsáveis pelo aquecimento da Terra [...] As preocupações com o “efeito estufa” levaram vários ambientalistas a apoiar uma nova “renascença nuclear”” (p.15). Acreditamos que quando o aluno aponta que a produção de energia elétrica a partir das usinas nucleares possui baixo impacto ambiental esteja se relacionando apenas à questão dos gases poluentes e na frase do autor que aponta que ambientalistas defendem esse tipo de energia.

Ele diz ainda que o material apresentado seria interessante de se trabalhar no nível médio, com um intuito que difere um pouco do que ele apresentou na primeira aula.

*Fabício – Explicar e aprofundar para os alunos alguns conteúdos de forma mais interessante.*

Na primeira aula, o aluno disse que utilizaria a DC como forma de melhorar a formação cultural dos alunos e como atividade motivadora apenas. Aqui temos que ele vê a possibilidade de se utilizar tal recurso como ferramenta para se explicar e aprofundar conteúdos, passando a DC então a ser vista como proposta para se ensinar/aprender. Assim, Fabício conclui seu questionário apontando que o material é relevante para se trabalhar física moderna com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, apresentando indícios de uma modificação nas suas concepções.

Antes de analisar a atividade da última aula, vamos acompanhar o aluno Renato e finalizamos com a atividade que ambos fizeram juntos.

Para a primeira questão o aluno não respondeu cada alínea individualmente, assim optamos por apresentar sua resposta como um todo:

Imagine-se organizando uma aula de física para o Ensino Médio. Comente como você acha que poderiam ser utilizados os seguintes recursos e qual a importância e possíveis problemas dessa utilização: a) Livro didático, b) Exercícios semelhantes a outros já resolvidos em classe pelo professor c) Problemas d) Textos de Divulgação científica, e) Textos literários f) Textos de história da ciência g) Histórias em Quadrinhos h) Material para aulas experimentais i) Vídeos j) sua voz em uma aula expositiva k) Giz para escrever na lousa l) Computador

*Renato – O livro didático é de extrema importância em sala de aula e fora dela para promover uma segunda fonte teórica para os alunos e um conjunto de exercícios que podem ser trabalhados em sala de aula como atividade de fixação teórica. Problemas, vídeos, textos científicos entre outros conteúdos podem ser utilizados como apoio para reforçar as teorias e como ela pode ser aplicada no dia a dia do aluno.*

Aqui, o livro didático é visto não apenas como fonte teórica, mas também como depósito de exercícios para fixação do conteúdo. Outros recursos, como problemas e textos, são vistos apenas como apoio para reforçar ou aproximar as teorias e a aplicação no cotidiano.

Sobre a formação cultural dos alunos do Ensino Médio, Renato apresenta que utilizaria os seguintes recursos:

*Renato – Utilizaria textos de história científica, problemas propostos e resolvidos pela humanidade, textos literários, entre outros conteúdos que motive a aprendizagem de física.*

Já para aprenderem os conceitos de física, os recursos seriam outros:

*Renato – Para maior aprendizado utilizaria exercícios, livro didático, vídeos e material de atividades experimentais.*

As repostas apresentadas pelo aluno são coerentes com a questão anterior, e reforçam a ideia de que, para ele, conceitos físicos se aprende com o livro didático e exercícios. A presença do material para atividades experimentais aparece aqui podendo ser justificada na próxima questão, em que o aluno diz que, durante seu Ensino Médio tinha ao menos uma atividade bimestral de experimentação, e os vídeos por cada vez mais estarem presentes nas conversas e como recurso utilizado pelos alunos. De forma geral,

há indícios de que o aluno valoriza aqueles recursos com os quais ele teve contato na Educação Básica ou tem utilizado em sua graduação.

Quando questionado se ele já havia tido contato com conceitos de energia nuclear, Renato respondeu:

Renato – *Sim, já tive algumas aulas teóricas na escola no 3º ano de ensino médio em que vi um esquema geral de como é produzida a energia e o quanto é importante o constante resfriamento do sistema.*

Ao apontar a importância do resfriamento o aluno apresenta indícios de conhecer o esquema que ele comenta, uma vez que o processo de resfriamento é fundamental para que o reator não superaqueça, aumentando a pressão em seu interior, podendo causar uma explosão.

Sobre seu contato com a leitura, Renato comenta que tem o costume de ler diariamente e seus tipos preferidos são *contos, biografias, livros técnicos e a bíblia*. Já com relação aos recursos que utilizava para estudar no seu Ensino Médio, ele diz que:

Renato – *Eu estudava através do livro didático e de minhas anotações em sala de aula.*

Percebemos que o livro didático, no caso dos alunos acompanhados, continua presente no ambiente escolar, sendo o principal recurso citado por eles. Ressaltando a nossa análise de que Renato apresentou como recursos que utilizaria para os alunos aprenderem conceitos de física aqueles com os quais ele teve contato no Ensino Médio e estava tendo em sua graduação. Quando questionado se ele acreditava que a forma como estudava anteriormente era a melhor, o aluno responde:

Renato – *Não, em meu ensino médio não tinha acesso a internet em que disponibiliza diversos conteúdos e vídeos.*

A colocação do aluno parece indicar uma alteração na forma de estudar, mas que não consegue chegar ao ambiente escolar. Embora alguns estudantes, tanto de nível médio quanto de superior estejam passando a utilizar a internet como ferramenta de estudos, as escolas ainda caminham a passos curtos na direção dessa implementação, enquanto as universidades se encontram um pouco à frente utilizando recursos como a plataforma Moodle.

Sobre a leitura do livro didático realizada em sala de aula, Renato manifestou que a leitura o agradou:

*Renato – A leitura foi de grande agrado com linguagem fácil e suas informações bem organizadas facilitando o entendimento do tema.*

Entretanto, quando perguntamos se o estudante via diferença entre a leitura que ele realizou e outros livros didáticos e tipos de discursos, seu enunciado apresenta uma curiosidade.

*Renato – Existe diversas diferenças deste livro com os demais livros didáticos e textos científicos por estar desatualizado e por não ser bastante claro em alguns trechos e por não ter alguma leitura de apoio ou algo que exemplifique melhor o processo do fenômeno.*

Ao dizer que a leitura que ele fez estava desatualizada, podemos associar que o aluno a comparou com os livros que temos disponíveis em âmbito universitário, sendo mais abrangentes e mais aprofundados sobre o tema. Por se tratar de livros para o Ensino Médio, o conteúdo é abordado sem cálculos complexos ou discussões mais elaboradas. Outra opção é que os trechos extraídos foram apresentados contendo a bibliografia de cada um, na qual constava que os livros eram de 2010 e, portanto, poderiam ser considerados “antigos” para os alunos. Além disso, não temos informações se isso se trata de uma generalização que o aluno fez para os três trechos lidos ou se a referência era para um, em específico.

Com relação à validade de se trabalhar esse conteúdo com os estudantes do Ensino Médio, Renato diz não ser um tema relevante, embora o tenha estudado. Sua justificativa levanta uma questão importante acerca do tipo de estudante que queremos formar na Educação Básica:

*Renato – Por ser um tema bem complexo e com pouco valor significativo para os vestibulares mas pode ser trabalhado para estimular e motivar o aluno.*

Não temos informações suficientes para justificar o não interesse em se trabalhar o tema. Mas, a princípio, podemos inferir que, no imaginário desse estudante, o Ensino Médio tem o objetivo de ensinar elementos necessários para se ingressar na

universidade. Como a parte de Energia Nuclear não é cobrada no vestibular, para ele, pode não ser significativa.

Dando continuidade em nosso questionário, perguntamos “Como você explicaria para um conhecido seu o que leu hoje? ”

Renato – *A energia nuclear possui suas vantagens e desvantagens e esta atividade pode gerar grandes riscos ao meio ambiente em caso de erros e acidentes. É uma forma de produzir energia sem emissão de gases poluentes e bastante eficaz. Uma usina nuclear produz muita energia através da fissão nuclear que gera energia aquecendo a água produzindo vapor e este vapor passara por uma turbina que logo depois se inicia o processo de armazenamento de distribuição de energia elétrica. Os grandes problemas desta forma de produzir energia é que produz lixo toxico radioativos e em caso de erros e acidentes pode encadear uma explosão ou vazamento de material radioativo gerando grande desastre no meio terrestre e marinho.*

Embora o aluno tenha lido sobre o processo de fissão, questões de radiação, entre outros assuntos, quando questionado sobre o que ele contaria, seu foco ficou na produção de energia nuclear. Quando ele apresenta em seu discurso que esse tipo de energia “*É uma forma de produzir energia sem emissão de gases poluentes e bastante eficaz.* ”, temos que ele faz uma repetição formal de um trecho da leitura do livro Quanta Física: “O resultado disso é a liberação de uma quantidade de energia superior àquela conseguida pela queima de carvão ou petróleo, e sem liberação de gases que poluam a atmosfera.” (KANTOR *et al*, 2010, p. 222). Sobre a explicação do funcionamento da usina pelo aluno podemos dizer que, aparentemente ele efetuou a leitura dos textos, mas não conseguimos identificar com base em qual trecho ele elaborou sua resposta, partimos de dois trechos:

O processo de fissão nuclear começa no reator e a energia liberada é utilizada para aquecer a água (tubulação em tom avermelhado), que é então conduzida ao gerador de vapor. Ao esquentar e ebulir a água, o vapor produzido a alta pressão é direcionado para a turbina, que entra em movimento. Acoplado a ela encontra-se um gerador que, ao ser acionado, produz energia elétrica. (PIETROCOLA *et al*, 2010, p.441)

A energia proveniente de núcleos radioativos libera calor que é transferido para a água contida em uma caldeira. O vapor d’água a alta pressão faz girar a

turbina acoplada ao gerador, tal qual em uma termelétrica a gás ou diesel. (KANTOR *et al*, 2010, p. 221-222)

O aluno apresenta elementos presentes nos dois trechos, mas quando se refere ao processo de armazenamento e distribuição de energia não temos neles essa informação. Pode se tratar de uma forma do aluno trazer os geradores, associando a esse processo de armazenamento e distribuição, sendo, neste caso, um indício de que ele realizou uma repetição histórica.

Com relação ao trecho que o aluno se refere aos problemas desse tipo de energia, novamente não podemos identificar à leitura de qual livro ele se refere. Tanto o trecho extraído do livro Física em Contextos como o Quanta Física trazem alguns problemas e o relacionam com acidentes que já ocorreram, embora nenhum utilize o termo “*lixo tóxico*”, é possível encontrar termos como *lixo atômico*.

Na aula sobre DC, Renato leu o texto intitulado “Energia Nuclear”, escrito pelo físico Mahir S. Hussein. Quando perguntamos que tipo de material Renato esperava quando falamos em DC, o aluno respondeu:

Renato – *Pensei em um texto academico feito por um estudioso divulgando suas teorias e experimentos realizados.*

A expectativa de Renato foi atendida com relação ao escritor, como veremos a seguir, embora não apresente uma divulgação de teorias ou experimentos realizados e, sim, conteúdos físicos que possam interessar a uma parcela da população.

Renato – *Sim, ele explica com clareza os conceitos envolvidos na energia nuclear e os riscos que envolvem este modo de produzir energia.*

Quando pedimos para ele contar sobre o que havia lido, Renato elaborou o seguinte discurso:

Renato – *A energia nuclear é uma forma de produzir energia através do processo de fissão em que envolve a quebra de núcleos bem pesados por razão do bombardeamento de nêutrons. Os elementos utilizados são radioativos e em caso de acidentes pode causar um grande desastre porém é uma forma bem eficiente de produzir energia por não liberar gases poluentes e pela grande quantidade de energia gerada no processo.*

O texto lido pelo aluno diz que a energia nuclear pode ser produzida por dois processos, o de fusão e o de fissão nuclear. Em sua resposta, Renato diz que contaria apenas a parte da fissão e, para isso ele utiliza a repetição empírica, uma vez que no texto temos: “O outro processo, fissão, envolve a quebra de núcleos bem pesados ai serem bombardeados por nêutrons.” (p.60). A escolha por apresentar apenas esse processo pode ter sido motivada pelo próprio texto que, embora apresente o processo de fusão como alternativa possível, na maior parte aborda apenas o uso da fissão. A questão da quantidade de energia produzida no processo pode ter sido levantada pelo aluno pois o texto traz uma explicação da fórmula  $E=mc^2$ , apresentando a quantidade de energia que o urânio pode gerar. Entretanto, a questão dos gases poluentes o aluno trouxe de outras leituras, podendo ser do livro didático da aula anterior ou do contato com o assunto que teve durante seu Ensino Médio, uma vez que o texto apenas aborda que durante o processo, a fissão não deixa resíduos radioativos.

Quando perguntamos se ele acredita que textos de DC podem ser utilizados para aprendizagem de física, diferente do que disse no questionário inicial, o aluno respondeu que poderia ser utilizado sim. Entretanto, quando perguntamos em que sentido o texto poderia ser utilizado, ele diz:

*Renato – Sim. A leitura de textos científicos seria de grande aproveitamento para despertar o interesse do aluno e para abrir uma discussão e reflexão sobre temas abordados em sala de aula.*

Acreditamos então que sua concepção não foi modificada, uma vez que ele continua atribuindo aos textos a função de apoiar o ensino realizado. O que continua sendo reforçado ao dizer em que momento ele utilizaria esse material:

*Renato – O texto relata as grandes vantagens e os riscos envolvidos na produção de energia nuclear e apresenta várias experiências que a humanidade teve com as usinas nucleares através de notícias. Essa abordagem seria algo para motivar os alunos e insentivar os alunos com a discussão do tema.*

Assim, temos que Renato, após a atividade, apresenta indícios de ter mantido sua concepção sobre o uso desse material.

Vamos olhar agora para a atividade que os dois estudantes elaboraram juntos. A ideia era que eles realizassem uma proposta de aula para o Ensino Médio, a temática da aula proposta era livre. Apesar disso, foi comentado que seria aconselhável o tema Energia Nuclear. Foi pedido que os alunos utilizassem algum(ns) recurso(s) apresentado(s) e/ou trabalhado(s) nas aulas, sejam da pesquisadora-professora ou do professor responsável. A proposta se encontra no Apêndice VI Os alunos produziram a seguinte sequência:

Fabrício e Renato - *Tema: Energia Nuclear*

➤ *Objetivos*

- *Introdução*

- *Vídeos/ reportagens sobre a energia nuclear e seus riscos e benefícios.*

- *Textos de leitura (revistas, blogs...)*

- *Discutir os conceitos teóricos da energia nuclear*

- *Despertar curiosidade*

- *Discutir os possíveis riscos e danos ao meio*

- *Motivar e demonstrar os benefícios da produção de energia nuclear.*

➤ *Recursos Escolhidos*

- *Livro didático (teoria)*

- *Textos de divulgação científica (informativo e motivador)*

- *Lousa/Slides (trabalhar os conceitos teóricos)*

- *Vídeos/reportagens/documentários (informativos)*

- *Experimento*

- *Laboratório de informática (simuladores)*

➤ *Conteúdos trabalhados*

- *Energia Nuclear*

- *Física Moderna*

- *Energia*

➤ *Procedimentos utilizados na aula*

- *Introdução da aula*

- Vídeos
  - Textos de apoio
  - Discussão/reflexão
  - Trabalhar as teorias envolvidas
  - Realizar exercícios na lousa
  - Experimentos
  - Laboratório de informática
- *Modo de avaliação*
- Prova de exercícios
  - Discussões e reflexões (participação)
  - Experimento (simulação)
- *Bibliografia*
- Livros didáticos
  - Revistas
  - Textos de divulgação científica
  - Vídeos
  - Simuladores em computadores
  - Sites de apoio

Notamos que eles propuseram uma aula sobre Energia Nuclear, na qual gostariam de discutir os conceitos teóricos do tema, despertar curiosidade, discutir os possíveis riscos e danos ao meio, motivar e demonstrar os benefícios da produção de energia nuclear. Esses objetivos relacionados ao meio ambiente e benefícios podem ter tido origem com a leitura dos textos de DC.

Os recursos escolhidos pelos alunos foram apresentados indicando com qual o intuito cada um seria utilizado. O livro didático, como já era esperado, com base nas respostas dos questionários individuais, aparece como recurso básico para a apresentação de teorias. Fabrício apontou que esse não era o melhor recurso por, algumas vezes, ser de difícil leitura e os alunos não se interessarem. Renato também disse que não era a melhor opção. Apesar disso, é o recurso que eles acreditam que deve ser utilizado.

Fabrcio, se referindo a textos de DC, no ltimo questionrio, disse que seria interessante para explicar alguns contedos. Renato manteve sua concepo de que ele motivador e isso aparece na atividade final. Os alunos colocam que utilizariam o recurso, mas com o objetivo de informar e motivar os estudantes.

O uso de lousa e slides foram apresentados na primeira aula como recursos que seriam utilizados para que os alunos aprendessem teorias e conceitos, o que se manteve na atividade final, destacando a importncia que esse tipo de aula tem na educao. Os vdeos tambm apareceram inicialmente como recurso para a aprendizagem de conceitos, mas aqui os alunos o citam como fonte de informao, apresentando um indcio de que, embora eles utilizem o recurso para estudar fora do ambiente escolar, em sala de aula eles acreditam que seja mais eficiente como informativo apenas. O mesmo acontece com os experimentos.

Fabrcio demonstrou no questionrio inicial que o computador poderia ser um recurso para aprendizagem. Sobre isso, cabe destacar que os alunos haviam tido, na semana anterior, uma aula no laboratrio de informtica, na qual eles conheceram diferentes sites de simulao.

Na introduo da aula os alunos colocam que utilizariam vdeos e textos de apoio. Segundo eles, trata-se de recursos informativos e motivadores, ou seja, seriam utilizados com o intuito de despertar o interesse e motivar. Estando os alunos imersos nesse interesse, eles propem discusses, um recurso que no foi apresentado nos questionrios, mas foi amplamente trabalhado nas aulas ministradas tanto pela pesquisadora-professora como pelo professor da disciplina, aparentando ter sido interessante para os alunos, a ponto de adicionarem na proposta de aula. Sobre os recursos que utilizariam para trabalhar as teorias, eles no explicitam.

O uso de experimentos vem sendo apresentado ao longo dessa seqncia, por m eles no apresentam quais experimentos seriam utilizados.

Os modos de avaliao apresentam elementos como a prova constituída de exerccios que um recurso que, quando se trata de Físca Moderna e Contempornea, requer clculos mais complexos. A experimentao, por meio de simuladores, os alunos no explicaram como seria tal processo avaliativo.

Com relação à bibliografia escolhida pelos alunos, cabe destacar que, dado o tempo e proposta da aula, não queríamos que eles nos oferecessem uma bibliografia detalhada e sim apontassem onde eles buscariam suporte para elaborar a aula proposta.

O livro didático aparece como primeiro recurso que seria consultado. Isso já era esperado, uma vez que Fabrício o apresentou como base para a aula e Renato como fonte de estudo e de exercícios. Já revistas e textos de DC foram uma surpresa, visto que no questionário inicial, Fabrício apontou esses recursos como motivadores e como forma de despertar a curiosidade, enquanto Renato sequer respondeu os itens relacionados à leitura de tipos de discursos. Não podemos, contudo, afirmar que o fato dos alunos citarem esse recurso como bibliografia da aula implica que eles tenham esse intuito realmente. Podem ter colocado por se tratar de um dos focos de estudo do trabalho que estava sendo desenvolvido e como forma de “agradar” a pesquisadora-professora. O mesmo pode ter acontecido com relação aos vídeos, simuladores e sites que, inicialmente não foram recursos tão valorizados pelos alunos, porém o professor responsável pela disciplina havia trabalhado no laboratório de informática com diversos recursos que poderiam ser utilizados no ensino.

### **5.9. Alguns áudios das aulas**

A análise das gravações de áudio das aulas pode ser interessante se pensarmos na atividade de mediação e discussão que ocorreu basicamente dos momentos iniciais da segunda e da terceira aula e do final dessa terceira. Nos momentos iniciais, a pesquisadora-professora elaborou, com base em respostas dos alunos, apresentações para iniciar e guiar a discussão sobre assuntos abordados na aula anterior. Cabe destacar que, possivelmente, por inabilidade da pesquisadora-professora, alguns momentos poderiam ter sido melhor explorados, entretanto só ficaram evidentes no momento da transcrição dos áudios. Isso se destaca quando, em diversos momentos, o professor titular interfere no andamento da discussão para questionar os alunos sobre algum ponto que ele, por conhecer o trabalho nesse tipo de aula e por ser experiente conseguiu identificar que seria de fundamental importância. Dito isso, nos propomos aqui a apresentar alguns trechos das discussões e relacionar com as atividades em sala.

Na primeira aula, quando conversamos sobre o gosto pela leitura, foi possível identificar a relação que o aluno Renato tinha com a leitura:

*PP (Professora- Pesquisadora): Na primeira pergunta, nas duas, na verdade, eu acho que deu para perceber que elas são bem pessoais e não têm relação com o texto que foi passado, então eu gostaria de saber, de uma forma geral assim, quem que assinalou que gosta de ler?*

*Renato – Eu gosto de ler, sei lá, notícias e superficialidades, assim...textos complexos não.*

*PT (Professor- Titular): Nem quando estava no ginásio, no fundamental II você não lia?...*

*Renato – Então, mas eram coisas curtas, diferentes, não era o livro para ler...*

*PT: Sei lá, mas os professores não davam o livro, uma literatura, não davam para ler, interagir?*

*Renato: Não. Davam, mas acho que eram aqueles de criança, não livros complexos assim. Eles passavam um texto curto, do livro não. Alguns falavam para ler em casa, alguns. Mas assim, era legal, mas a maioria dos textos eu não conseguia ler.*

Percebemos que o aluno gosta de ler com restrições, mais do que isso, percebemos que para ele a leitura do livro didático tende a ser uma leitura difícil. Quando o aluno coloca ainda que “a maioria dos textos eu não conseguia ler”, temos um indício preocupante, uma vez que o livro didático é escrito pensando no aluno do Ensino Médio e, termos o relato de um aluno de graduação dizendo que não conseguia efetuar a leitura indica que devemos nos preocupar com essa produção de sentidos. Pensando ainda com relação aos trabalhos de Orlandi, já apresentados, como o aluno indica que gosta (e inferimos que consegue) efetuar leituras variadas que sejam de seu interesse, o seu problema com o livro didático está diretamente relacionada ao tipo de discurso e, segundo a autora a forma como lemos advém de nossas histórias de leitura, assim, é possível que ele lesse alguns tipos de discurso com os quais ele tem mais contato e não efetue a leitura de outros tipos. Entretanto cabe destacar que a partir do momento que ele é convidado a efetuar essa leitura e a realiza, esse processo passará a fazer parte da sua história podendo facilitar leituras futuras.

Outra aluna que se posicionou na discussão enfatizando que não gosta de ler o livro foi Renata, segundo a aluna:

*Renata – Eu falei que eu não gosto muito de livro, eu acho meio que entediante, então eu gosto mais de artigos...é...artigos, documentários e tipo, é... através de algumas coisas da internet que eu vejo e faço observações.*

*PP: Mas artigo, quando você fala, é que tipo de artigo?*

*Renata – Artigos científicos, mas não são tipo livros assim...*

Destacamos que a aluna ao apontar leituras que gosta de fazer direciona seu discurso para tipos mais científicos. Uma possível justificativa para isso consiste das condições de produção. A aluna se encontrava em uma disciplina de graduação de um curso de licenciatura em física, ambiente em que, costumeiramente se valoriza muito os tipos de leitura que ela aponta. Entretanto, não queremos com isso dizer que a aluna distorceu seu discurso para adaptá-lo as condições de produção, mas nos instiga saber se ela não tem momentos em que efetua a leitura de tipos não voltados para a área científica. Dando continuidade ao diálogo:

*PP: Mas quando você lê artigo, não é um tipo de leitura?*

*Renata – Mas não é um livro, tipo... 300 páginas assim...*

No enunciado da aluna percebemos indícios então que a rejeição pela leitura do livro não consiste direta e exclusivamente pelo tipo de discurso, mas também, e possivelmente principalmente, se trata do volume de páginas que ele utiliza para apresentar um determinado assunto.

Ainda pensando no enunciado de Renata e a ênfase dada pela aluna em leituras voltadas para a área científica temos o aluno Ricardo que apresenta bem a distinção entre campos, para o aluno:

*Ricardo - Eu gosto bastante de ler ficção, então assim, geralmente, para mim, estudar e ler são coisas diferentes. Estudar matemática, por exemplo, é diferente de ler a história da matemática.*

O aluno evidencia que ele tem os momentos nos quais se dedica à leitura, mas também tem àqueles que a efetua com outros objetivos. Ou seja, o aluno, sem saber apresenta a distinção entre dois tipos de leitura a utilitária, na qual se busca aprender algo

e a leitura não utilitária descrita por Miguel e Petroni (2009) como uma leitura cujo objetivo é a “distração é o relaxamento, a evasão, a aventura, o passa o tempo. É um tipo de leitura que requer uma disponibilidade afetiva e emocional do leitor, sem nenhuma função utilitária” (p. 17), trata-se de um momento de relaxamento.

Entretanto, o aluno indica que para ele, textos históricos não contribuem para o aprendizado de conceitos. Como o aluno apresenta como exemplo a matemática podemos inferir que, o que ele quis dizer é que efetuar a leitura de textos não vai auxiliá-lo a aprender a fazer um cálculo. Mas, buscando transpor isso para a nossa realidade, no ensino de física, destacamos que a física, assim como a matemática, não consiste apenas de cálculos, muitas vezes, você conhecer a história te auxilia no entendimento do conceito o que pode facilitar amplamente o seu entendimento e acompanhamento da transposição entre conceitos e cálculos matemáticos.

Pensando na forma de se trabalhar com o livro didático, gostaríamos que a leitura, acompanhada de uma discussão não transmitisse a ideia de uma simples leitura. Buscando entender como os alunos compreendiam esse processo temos o seguinte diálogo:

*PP: Como vocês se sentem, vocês acreditam que haveria uma outra forma do professor estar trabalhando isso? Que não seja...*

*Bianca – Tem, tem, tem... por exemplo, seria bem mais legal se ele explicasse para mim o que é a energia e não fazer eu ler tudo isso... é muito chato tudo isso. Não, é verdade... na hora que você pega um “calhamaço” desse tamanho, já perdeu a graça já. É fácil dispersar ler isso aqui...*

*PP: Você acha que isso acontece só por quê é livro didático, ou se fosse um artigo, como no caso que ela disse...*

*Bianca - Também seria chato.*

*Renata – Não eu achei isso mais chato que o artigo.*

*Bianca – Coisa assim, muito extensa, sem figura, ou alguma introdução...ou uma coisa mais fácil...assim, causa desinteresse, pelo menos em mim. Chega um trecho aqui que eu não quero mais ler, não quero mais ler...não sei, não tem graça...*

Percebemos que a rejeição pelo livro didático para a Bianca perpassa diversos fatores, a aluna aponta que a leitura seria extensa, o que já não a motivou logo no início por se tratar de várias folhas para a leitura, entretanto o fato de ser majoritariamente um texto corrido também colaborou para o seu desinteresse. Importante ressaltar que em outros trechos da discussão, a aluna evidencia que, em seu entendimento, o melhor tipo de aula é a expositiva e que para ela, atividades de leitura ou que proporcionem uma diversificação da aula não são interessantes.

Quando perguntamos para os alunos por onde eles estudavam no EM temos, novamente, indícios que a dificuldade de se entender uma leitura abrange mais questões do que a simples dificuldade em ler, envolvem o tipo de leitura e o conteúdo que ela aborda:

*Aline - Ah depende da matéria assim, tipo, física, eu só ouvia a aula do professor só, geografia eu entendia bastante coisa, a maioria... hã...e biologia, assim, tipo história... era aquela coisa que eu lia quinze vezes e não entendia nada... então, depende...*

Assim, para a aluna, algumas situações possibilitam que a leitura flua com mais facilidade. Isso fica evidente nas respostas de alguns alunos quando eles apontam, por exemplo, que pela parte de FMC do livro didático envolver muitos conhecimentos da Química a leitura é mais difícil, ou ainda, se referindo à leitura do material de DC, conhecer elementos históricos relacionados à Segunda Guerra Mundial poderia, segundo Ismael, facilitar o entendimento do texto:

*Ismael- Eu também notei que nos textos, para você entender melhor você tem que ter um conhecimento prévio sobre os acontecimentos... Sei lá, da segunda guerra mundial, um pouco da parte física assim... por que aí tipo, o texto vai te informar logo depois, mais você iria absorver tudo porque o texto retoma algumas coisas que se você não entendesse o aspecto histórico e da física você iria ficar meio perdido assim...*

Um aspecto que surgiu durante as discussões e que não foi contemplado em nosso questionário é com relação à estrutura do livro didático, sobre isso apresentamos os discursos de dois alunos:

*Ricardo – Eu acho que o livro é mais uma informação tipo... bem mais organizada. Só que o livro não prende a atenção. Então você precisa ter algo para guiar você a entender para depois você conseguir entender o que fala o livro didático.*

*Fabrizio - Eu não sei, eu acho que eu penso o contrário tipo dele, para mim, o que está escrito aqui, tem muito teor de divulgação, assim sabe...eu não sei como é o livro usado em outras áreas, ou em outros conteúdos de física, mas o conteúdo de física moderna, para mim é completamente divulgação, tipo... eu acho que ler ajuda, sei lá lê uma demonstração de um sei lá, teorema ou uma coisa nesse sentido. Agora, assim (mostrando o trecho selecionado), para mim, parece que ajuda mais no sentido cultural e também pode dar uma base para ele entender a física, mas não necessariamente faz ele aprender física.*

Pelo enunciado dos dois alunos percebemos que o entendimento das características dos LDs são bem divergentes. Um considera esse material um apanhado de informações, entretanto indica que o material não está acabado, para Ricardo, é necessária uma mediação para guiar o aluno pelo livro, nesse caso o estudante destaca o papel do professor na aprendizagem.

Fabrizio, por outro lado, se aproxima de vertentes como a de Braga e Mortimer (2003) que entende o LD como a soma de outros discursos, mais que isso, permite inferirmos que, para o aluno a DC não possui um papel significativo na aprendizagem de física. Um ponto que chama a nossa atenção, é que poucos alunos associaram o LD com a formação cultural e, nesse caso quando o aluno expressa isso temos que, na realidade não é com o LD que ele está fazendo essa relação, mas sim com o que ele considera que seja uma DC presente dentro do LD. Aprofundando, destacamos que os LD abordam os temas de FMC fazendo mais relações e apresentando o assunto, no EM é praticamente inviável sugerirmos formulas e cálculos matemáticos nesse sentido, como possivelmente, foi o que o aluno sentiu falta no material. Considerando isso, possivelmente, temos um aluno que, se mantido esse imaginário, ao chegar para lecionar no EM terá uma recusa em trabalhar com o tema dentro das propostas do LD por não acreditar que seja possível aprender física com ele.

Quando, na segunda aula, perguntamos aos estudantes como eles entendiam, e se entendiam, que o uso de diferentes recursos em sala de aula era válido para a aprendizagem, tivemos diferentes posicionamentos, apresentamos dois aqui.

*Renata: Quando o professor faz um trabalho com textos científicos, você de certa maneira vai estar abrindo, de certa maneira dando acesso ao aluno ao vocabulário que normalmente você não tem no dia a dia e você tem textos mais elaborados, acadêmicos, com linguagem acadêmica e na questão da interpretação também, por que textos mais rigorosos exigem que o aluno pesquise mais sobre o vocabulário, sobre... ele pode discutir com os colegas se é isso mesmo que ele entende, eu acho que isso, assim, os textos científicos ajuda bastante em sala de aula, não só na aprendizagem de física, mas também na língua, no estudo da língua em si.*

O discurso da aluna Renata nos remete às histórias de leitura propostas por Orlandi que indicam que é necessário perpassar por diversos tipos para saber trabalhar com cada um deles. Outro ponto importante que a aluna apresenta é com relação à ampliação do vocabulário. A aluna destaca que o trabalho com outros tipos de texto no ensino permite que o estudante amplie seu conhecimento e interação social, elementos importantes para uma estratégia de ensino.

*Bruno - Eu acho que o ideal seria uma aula que você pudesse usar inúmeros recursos disponíveis, da melhor maneira possível, né, quanto mais melhor. E eu acredito que assim, como você tem pessoas que veem de uma maneira, pessoas que veem de outra, você consegue alcançar diferentes tipos de aprendizagem. As vezes a pessoa não... não consegue aprender lendo um texto, mas na hora que você faz um experimento ela já, pum, consegue aprender, deu na mão dela ela já consegue se envolver a prender ali. Então eu acho que quanto mais recursos você puder usar dentro de uma sala de aula, eu acho que você vai conseguir alcançar mais pessoas, aí nesse sentido de compreender a aprendizagem assim, nesse sentido.*

Já Bruno foca seu discurso no aprendizado que uma proposta envolvendo diferentes tipos de recursos pode ter. Assim como o aluno, acreditamos que oferecer diferentes oportunidades para o aprendizado permite que em algum momento da aula você consiga atingir mais alunos e proporcionar o aprendizado. Esse interesse em trabalhar com diversos recursos fica evidente quando, na terceira aula, os alunos são convidados a elaborar a proposta de aula e Bruno indica que trabalharia com “*Atividades de campo, livros didáticos, atividades experimentais, filmes, simulações, etc.*”. Ou seja, percebemos que, embora a leitura de textos não esteja muito presente em sua proposta, o

aluno indica diversos outros recursos que ele acredita serem válidos para compor uma unidade maior de ensino.

Com relação ao entendimento dos tipos de leituras, temos o seguinte diálogo:

*PP: Então a gente tem a história em quadrinhos, a gente tem a divulgação científica, tem o livro didático, tem vídeos, tem documentários..., tem diversas formas e aí eu pergunto, a leitura ela é tudo igual?*

*Ismael - Não*

*PP: Por que?*

*Ismael - Primeiro, ela atinge públicos diferentes, então, são interesses diferentes. Segundo que ela apresenta o conteúdo, como o Paulo falou, interdisciplinarmente de uma forma diferente né então ela atinge objetivos diferentes, vamos dizer assim. Eu acho que é isso, umas são mais formais, outras menos formais...são diferenças básicas.*

Temos que o aluno consegue identificar que os tipos de discurso possuem diferenças, embora, nesse momento talvez ele não seja capaz de indicar que podem ocorrer diferenças dentro de um mesmo tipo de discurso, mas entender que os interesses com os quais os textos são escritos, a linguagem e a estruturação são diferentes é fundamental para compreender a possibilidade de se trabalhar com esses recursos.

*PP: Quando a gente pensa no livro didático, como você considera isso? Do que você disse, ele tem um objetivo claro do que você espera de um livro didático?*

*Ismael – O livro didático ele precisa ser pelo menos mais formal que uma revista, que um texto e uma história em quadrinhos, só que ele não precisa ser tão formal quanto um texto de DC. Tem que permear entre ser formal, mas só que de fácil acesso*

Uma vez que o aluno havia indicado que os objetivos de cada tipo de texto eram específicos, perguntamos o que ele entendia como objetivo do LD e percebemos que o conceito de DC ainda não estava claro para o aluno, destacamos que esse diálogo ocorreu antes da atividade com esse tipo de discurso ser realizada e, como destacamos na análise dos questionários, muitos alunos entendiam que a DC era, na verdade um artigo científico ou um texto acadêmico. Tendo esse entendimento do aluno em consideração, percebemos que ele indica que o LD requer certa formalidade, entretanto ainda precisa

dialogar com o seu leitor, que possivelmente será um aluno. Como indicado no início dessa seção, esse é um ponto em que a pesquisadora-professora poderia ter trabalhado o entendimento dos alunos sobre o que seria uma DC, entretanto, no momento da aula ela não foi capaz de identificar o equívoco no discurso do aluno.

Continuando o mesmo diálogo com o aluno temos:

*PP: Então se a gente pensar na linguagem que ele é escrito, tem que possibilitar que o aluno consiga entender.*

*Ismael – Que ele entenda só que não precisa ser uma linguagem muito “chula”.*

*Fabrizio - Eu acho que tem que ser, o livro, o aluno conseguir entender o conceito básico na primeira leitura, mas tem que ser algo mais formal, cumprir essa, não é capacidade, ele tem que ter essa característica. Partir daquilo que o aluno tem e levar o aluno para uma situação mais formal. Nesse caso tem que ter o contexto social e tal. Então acho que isso tudo é essencial ter. O objetivo teoricamente seria esse.*

Destacamos, no enunciado de Ismael a importância de manter uma linguagem não “chula”. Em nosso entendimento, com relação a esse comentário, temos que o LD deve permitir ao aluno compreender o que ele quer apresentar, entretanto, dada a sua condição de produção e da produção de sua leitura, temos que ele é pensando para ensinar e, portanto, não pode apresentar um discurso como o de um aluno explicando para o outro um assunto. Algumas características de formalidade são necessárias para que ocorra não apenas a aprendizagem do assunto, mas também uma aprendizagem de língua portuguesa, de vocabulário, escrita e outros fatores que embora não sejam vinculados à física, perpassam todo o currículo e vida das pessoas brasileiras.

Outro ponto que Fabrício coloca além da questão da linguagem é a relação entre os conceitos que o aluno já sabe e os que ele busca aprender. Para o aluno, o material tem que trabalhar considerando isso, o aluno possui um conhecimento com ele, esse conhecimento pode ser tanto institucionalizado quando oriundo de sua história de vida, e o livro precisa conseguir permitir um avanço no seu aprendizado.

Após a atividade com os textos de DC perguntamos aos alunos se a concepção do que eles entendiam como tipo de discurso havia se alterado:

*PP: Na última aula, no questionário que eu entreguei é... eu perguntei o que que vocês imaginavam quando eu falava de DC e a maioria das respostas que apareceram foram que é notícia sobre ciência, pesquisa acadêmica, algum texto relacionado com o cotidiano, um texto jornalístico, um material superficial, informativo, texto formal e difícil, divulgação de dados e um texto técnico. Então, a partir disso, quando vocês leram, mudou alguma concepção de vocês sobre o texto ou manteve?*

*Rafael - O que eu li, mudou um pouco.*

*PP: Qual que você leu?*

*Rafael – Na minha visão era algo muito formal e não era tanto. Era o da bomba atômica.*

*PT: O que você quer dizer com “algo formal”?*

*Rafael – Eu quero dizer informal né. Eu sempre achei que divulgação científica era algo mais técnico assim, algo não sei dizer. E tinha no texto várias imagens, muito, um texto muito fácil de ler e... foi isso que tirou um pouco daquela.*

*Paulo - Eu acho que por ser uma de divulgação científica não pode ser muito conteúdistas, levar muito rigor porque você está mostrando para um público que não é especialista naquele assunto. Então eu acho que o conteúdo de DC tem que ser de uma maneira superficial, mas esclarecedora, já um artigo, um artigo científico sim, ele é mais técnico, mais de leitura mais difícil. Então o texto que eu li, eu achei que se enquadrava perfeitamente no que eu acho que é uma DC.*

Percebemos que a atividade permitiu que os alunos tivessem contato com um material que eles não associavam à DC, mostrando que não se tratava de um texto complexo e nem era um artigo científico como muitos entendiam. Para Paulo, o texto aparentemente atendeu suas expectativas, diferente do que aponta Rafael. Uma questão importante que precisa ser levantada quando se fala da leitura de textos é o que o aluno pode inferir em um primeiro contato com o material, antes mesmo de efetuar a leitura. Como a aluna Bianca apresentou em seu discurso uma recusa imediata ao receber os textos do LD, temos aqui o aluno Toni, mas que, felizmente teve sua concepção alterada.

*Toni - E também como é revista de universidade, tem aquela impressão de que ah... é um texto científico. Parece que é um artigo disfarçado de DC. Mas é um texto*

*bem esclarecedor deu para entender o que o texto dizia. Quando eu peguei e vi “Revista USP” eu pensei “Ah não, justo o meu é artigo”... Já estou sabendo que na segunda página eu vou estar dormindo. Ai quando eu fui ver, estava terminando já.*

Infelizmente a professora pesquisadora não deu continuidade ao diálogo com o aluno, perdendo a oportunidade de avançar no entendimento dele sobre o material. Dando continuidade temos:

*PP: E aí eu pergunto para todo mundo, foi diferente. Só foi mais fácil, foi mais difícil que o livro didático, como que vocês pensam nisso? Ou foi igual também...*

*Fabrizio – Eu acho que pelo fato do texto estar envolvendo uma situação que aconteceu, então envolve eu acho que isso envolve mais o aluno. Eu acho que isso desperta mais... não de todos, mas de alguns alunos. Ele se aproxima mais da realidade.*

*Daniel – Alguns alunos eles estão interessados mais no aspecto qualitativo do assunto, não estão muito interessados nas partes quantitativas, que entra cálculo, que entra o rigor maior... eles gostam do... de por exemplo, hoje em dia está muito em alta coisas de divulgação de cosmologia, sobre o universo, essas coisas. Mas é uma visão qualitativa, você ter uma visão quantitativa ali vai ser bem maçante, eu acredito que é muito mais fácil para eles lerem o texto de DC, é muito mais atrativo do que o próprio material ali.*

Percebemos que os alunos indicam que o texto de DC possivelmente aborda conceitos mais associados ao cotidiano dos estudantes, uma justificativa para isso advém do processo de editoração. A DC tem uma circulação mais rápida conseguindo abordar conteúdos atuais ou que sejam de interesse da população enquanto o LD é um material que demora, no mínimo três anos para ser produzido ou seja, precisa se relacionar com o cotidiano do aluno, mas ao mesmo tempo ser atemporal, uma vez que se espera que as informações escritas três anos antes ainda sejam atuais quando o material chega aos alunos, e essa característica pode interferir na relação que o texto tem com o aluno. Outra questão que Daniel coloca é a relação entre quali e quantitativo. Muitas vezes o texto de DC pode ser mais aceito justamente por evitar a linguagem matemática, que muitas pessoas associam como ponto central para a dificuldade em entender física. Quando levamos um texto mais qualitativo para o ensino, não queremos dizer que a linguagem matemática não é importante, apenas apresentar o conceito sem que se tenha esse repúdio

inicial. Ao mesmo tempo, não podemos esquecer que o tema de FMC exige cálculos mais complexos o que seria inviável de se trabalhar no EM de forma quantitativa.

Com relação a discussão sobre a proposta de aula dos alunos, percebemos que se tratou mais de uma exposição na qual os alunos comentaram o que haviam proposto, não havendo uma efetiva discussão sobre o uso dos recursos e nem dos temas.

## Conclusão e Considerações Finais

O tema Energia Nuclear, está imerso no que chamamos de Física Moderna e Contemporânea. Essa vertente da física, mais atual, quando estudada matematicamente envolve cálculos avançados e, na maioria das vezes inviáveis de se apresentar aos alunos do Ensino Médio. Tendo consciência de que esse tema não pode ser apresentado matematicamente, os livros didáticos procuram uma alternativa para leva-lo até os alunos em uma linguagem mais acessível, uma vez que se trata de um assunto presente em diversas situações de nossas vidas.

Assim, associando a importância do tema e a sua complexidade os livros atualmente abordam esse conteúdo de uma forma qualitativa, o que pode, em um primeiro momento causar estranheza ao leitor, uma vez que esse tipo de discurso, na área de física é costumeiramente composto de definições e equações matemáticas. Percebemos com este estudo e considerando os livros selecionados que, ao abordarem o tema energia nuclear, eles buscam contextualizar o assunto, geralmente o associando à bomba atômica ou aos reatores nucleares que são situações que, mesmo que distante do leitor faz parte de um contexto sócio-histórico conhecido.

Pensando no material que escolhemos para desenvolver essa unidade de ensino, o primeiro texto que apresentamos, da Coleção Física em Contextos, apresentava o tema fazendo uma relação com questões tecnológicas e sociais. O livro apresentava, em forma de fotografias, as usinas de Angra que, embora distante de grande parte da população leitora, trata de um contexto dentro do país, também apresenta com abertura para discussão algumas vantagens e desvantagens do uso dessa energia. O processo físico, de fissão e fusão nuclear é apresentado por meio de uma ilustração e também na forma de conceito. Entretanto o livro preza pela abordagem qualitativa se eximindo de cálculos.

O segundo livro que utilizamos, da Coleção Física para o Ensino Médio, esse livro, embora também tenha uma apresentação qualitativa, em diversos momentos recorre a demonstrações de equações matemáticas ou a fórmulas químicas. Seu texto é bastante denso, com tabelas, gráficos, equações e fórmulas, ou seja, o livro busca explicar um tema de FMC sem abrir mão do formalismo matemático. Além disso não há uma contextualização com uma aplicação direta do assunto.

Por fim, o terceiro material extraído do livro didático que trabalhamos foi da Coleção Quanta Física, e abordava não apenas elementos da energia nuclear, mas perpassava por algumas outras fontes de energia ao se referir a temas de FMC. Nesse material o termo fusão nuclear não é abordado, apenas o termo fissão nuclear, o qual é explicado em um box. Essa ausência de um termo no trecho selecionado consiste em uma característica própria desse material que utilizamos. O livro utiliza a ideia de conteúdo em espiral e por isso o tema energia nuclear estava presente em diversos capítulos da coleção, e elementos de outras fontes de energia perpassavam o capítulo escolhido. É possível perceber que a abordagem é totalmente qualitativa, não trazendo equações em seu corpo.

Com isso, queremos evidenciar que, embora se considere que matematicamente a FMC é complexa para o EM, é possível encontrar materiais que abordem em uma vertente mais quantitativa, como é o caso do livro de Yamamoto e Fuke (2010). Ao mesmo tempo, é possível que os outros livros apresentem de forma qualitativa buscando relacioná-la com situações reais, como proposto por Pietrocola *et al* (2010). Ou ainda, buscando uma abordagem interligada com outras partes da física, evidenciando que ela é uma ciência mais ampla, como no livro de Kantor *et al* (2010).

Então, queremos enfatizar que, embora todos esses livros tenham sido escritos com vista num mesmo leitor virtual, no caso o aluno e os professores, de forma mais ampla, podemos dizer, todos tenham sido escritos pensando seu destino final a escola e todos eles possuam características específicas do tipo de discurso “livro didático”, que permite por meio de sua diagramação, exposição dos conteúdos e ênfases dadas, que o tipo seja facilmente reconhecido, cada um deles possui também características que os tonam únicos. O assunto costuma estar presente na segunda metade do terceiro volume da coleção, entretanto encontramos uma coleção que o aborde ao longo de todos os volumes, o que indica que outros livros que não foram escolhidos para se trabalhar nessa unidade de ensino também podem o fazer.

De forma semelhante temos alguns exemplos de textos de Divulgação Científica que abordam assuntos relacionados com Energia Nuclear. Embora todos eles sejam destinados a um público amplo, que não precisa necessariamente conhecer o assunto para efetuar a leitura, os textos diferem-se em muitos sentidos. Levamos para a sala um texto extraído da revista Galileu que abordava o conteúdo através de uma vertente

mais histórica, embora apresentasse alguns elementos físicos. O texto trabalhado era rico em imagens, boxes, entrevistas e recursos que visavam claramente atrair o público leitor. Essa característica pode ter sido um ponto fundamental para a participação dos alunos na aula, uma vez, que durante as discussões os alunos que efetuaram essa leitura se sobressaíram e apresentaram suas concepções de forma mais ativa que os leitores dos demais textos.

Outros textos que trabalhamos foram extraídos da Revista USP que traz atrelado ao seu título a sigla de uma instituição reconhecida, o que para alguns alunos causou uma rejeição inicial e certo receio, embora após realizarem a leitura os relatos tenham sido positivos. Esses textos foram escritos por físicos, e a revista se propõe a divulgar a ciência para todos os públicos e não são utilizadas, salvo exceções, fórmulas matemáticas. Esse texto, diferente do anterior não apresentava muitas imagens, apenas algumas ilustrações para explicar fenômenos físicos ou o funcionamento de determinado aparato. De forma geral, alguns alunos que efetuaram essas leituras também participaram das discussões.

Os casos de maior omissão são referentes à leitura do material extraído da Revista Ciência Hoje e do livro de divulgação científica próprio para o ambiente escolar. O primeiro, estruturalmente se aproximava bastante do texto extraído da Revista USP, ou seja, tratava de um texto de DC com aparência inicial de artigo, embora em uma linguagem mais acessível. O segundo apresentava uma história, um enredo e, em uma seção paralela era rico em conteúdos atrelados ao tema Radiação. Um ponto em comum desses dois textos é que eles abordavam o acidente de Goiânia com o Césio-137 e eram os mais antigos, 1988 e 2000, respectivamente.

Queremos, diante disso, apontar que, assim como o LD, a DC também possui subtipos e eles podem interferir no ato inicial da leitura, mas acreditamos que a produção de sentidos envolve mais do que a diagramação ou estrutura do texto, envolve a história de vida do leitor e suas condições de produção. Assim, temas impactantes e sobre os quais falam ao longo de décadas, como o caso da bomba atômica e/ou próximos à realidade do aluno, como os reatores nucleares possibilitam uma maior interação entre o leitor virtual e o leitor real, ao passo que, assuntos sem grandes destaques na atualidade, como o acidente de Goiânia, embora tenha acontecido no país dos alunos, não motivaram a leitura pelo grupo no qual o estudo foi realizado, nem o diálogo com o texto e a participação na

atividade. Um outro estudo mais voltado para esses textos poderia auxiliar a compreender os motivos pelos quais os alunos não se sentiram motivados.

Diante disso avançamos para compreender como os estudantes se posicionam sobre os usos desses materiais utilizados na unidade de ensino em possíveis aulas do Ensino Médio.

Sobre o livro didático a maioria dos alunos que participaram da primeira aula ministrada pela pesquisadora-professora o apontaram que ele seria útil como objeto de estudo do aluno. Poucos alunos o atrelaram como recurso importante para a aula ou para o professor. A partir das representações que os alunos indicaram no questionário, temos indícios de que, por se tratar de um recurso com o qual os alunos, possivelmente, tiveram contato ao longo da sua vida escolar, não aparece entre as preferências deles para o uso pelos alunos e nem pelo professor. Com isso temos um impasse no qual, quando questionamos os alunos sobre o uso do livro didático, esse recurso não parece ser tão valorizado pelos licenciandos, o que é corroborado quando perguntamos por onde eles costumavam estudar no Ensino Médio, a maioria disse ter utilizado o livro didático, mas destes, grande parte desses que o utilizaram afirmaram não considerar que ele era o melhor recurso para se estudar. Entretanto, a maioria o cita como recurso que utilizariam para que os estudantes do Ensino Médio aprendessem física. Cabe destacar que essas informações foram retiradas do questionário 1 e 2, porém os alunos já haviam tido contato com diferentes recursos na disciplina.

Esses dados nos levam a acreditar que, embora o livro didático não seja visto como um recurso agradável, ou até mesmo bom pelos licenciandos, a sua presença no ambiente escolar já faz parte do imaginário deles. Como diz Martins (2015) se trata de um artefato cultural, mas que muitos professores não sabem como introduzi-lo em sala de aula, como apontam Zambon e Terrazzan (2017). Assim, os alunos, aparentemente, apresentam um imaginário de que o livro didático é um recurso que deve ser utilizado para a aprendizagem de física, mas dada suas histórias de vida, principalmente o contato que tiveram com esse recurso, não o consideram como a melhor opção para isso. Retomamos então um ponto que Leite (2013) apresenta em seu estudo. Para o autor, a forma como os licenciandos têm contato com o livro didático no curso de graduação é fundamental para determinar como, e se, eles utilizarão esse recurso quando estiverem lecionando. Dito isso, esperamos com a atividade realizada ter conseguido mostrar para

os alunos que o livro pode ser um aliado no desenvolvimento de sua profissão, mas ainda precisamos nos aprofundar sobre essa afirmação.

Após a proposta de leitura com o LD, percebemos durante as discussões que alguns não se motivaram a efetuar a leitura e, possivelmente não a realizaram. Alguns comentaram sobre a estrutura do material que consistia de conceitos organizados, o que poderia facilitar o entendimento para algumas pessoas, outros acreditam que a parte relacionada com a FMC se aproxima muito de um texto de DC, possivelmente pela ausência, na maioria dos casos, do formalismo e rigor matemático. Acreditamos que um estudo mais voltado para os livros didáticos poderia ser desenvolvido buscando compreender se ocorre, efetivamente, uma mudança na linguagem ao se abordar conceitos da física clássica e da física moderna e contemporânea que favoreçam essa interpretação dos estudantes.

Sobre o uso de textos de Divulgação Científica, no questionário inicial grande parte dos alunos associou seu uso com motivação, curiosidade e/ou interesse. Tal recurso foi o segundo mais citado sobre recurso importante à formação cultural dos estudantes, ficando atrás apenas dos textos de história da ciência. Ao mesmo tempo, poucos alunos relacionaram esse recurso com alguma forma de se apresentar assuntos relacionados a conceitos físicos.

A baixa aceitação inicial dos alunos acerca do uso de textos de DC pode ser justificada pela ausência desse tipo de material em sala de aula enquanto eles estavam no EM. Sobre isso, é importante o que destaca Cunha e Giordan (2015), uma vez que inserir a DC em sala de aula é mudar sua esfera de circulação e, portanto, requer cuidados:

Quando levamos um texto de divulgação científica para a sala de aula estamos promovendo uma mudança de esfera, ou seja, da esfera midiática para a esfera escolar/didática e, dessa forma, estamos mudando também seu gênero, portanto suas formações enunciativas. (CUNHA, GIORDAN, 2015, p.73)

Dito isso, Lima e Giordan (2017) destacam que, nessa mudança de esfera alguns sentidos presentes na DC podem não chegar aos estudantes, isso porque, “Caso a DC utilizada não tenha sido produzida para uma audiência em fase escolar, o professor tem a função de planejar atividades que supram as possíveis dificuldades geradas pela

alteração do destinatário do material. ” (p.4). Assim, fica destacado o papel fundamental do professor como mediador da atividade em sala de aula.

Outro ponto que pode justificar as respostas dos alunos é o que eles entendem por textos de DC, lembrando que, ao responderem o questionário os alunos ainda não tinham tido contato com os textos de DC propostos pela pesquisadora-professora. E, após efetuarem a leitura e responderem ao terceiro questionário, mais da metade dos alunos que participaram da aula disseram que esperavam, como texto de divulgação, artigos científicos, trechos de tese ou dissertação ou textos mais formais. Sobre isso:

Ao comparar a DC com outras produções é possível notar características que particularizam esse gênero discursivo. Ainda que o objeto discursivo seja o mesmo, a DC tem propriedades muito distintas dos artigos científicos, como os públicos e os propósitos de produção que são fundamentalmente diferentes (LIMA; GIORDAN, 2015, p.289)

Destacamos então que os alunos, em um primeiro momento não se atentaram, ou não tinham conhecimento, de que a DC possui algumas características diferentes do que eles imaginavam. Apenas dois deles disseram que esperavam, com esse tipo de discurso, textos como os que foram apresentados. Isso pode ter implicado na resposta inicial dos alunos, uma vez que, por associarem com textos mais formais e de difícil leitura, seria justificável o receio em se trabalhar com tal recurso em nível médio.

Após a atividade com os textos propostos, percebemos, principalmente nas discussões que, os alunos que participaram, aparentemente mudaram suas concepções sobre o material, eles acreditavam que era um recurso que poderia ser utilizado em sala de aula, muitas vezes dizendo que se tratava de uma leitura agradável ou a qual gostariam de ter lido no Ensino Médio. Apesar disso, os alunos destacam que, embora escrita para diferentes públicos, eles sentiram a necessidade de se ter um conhecimento prévio sobre o assunto abordado. Eles também destacaram que a linguagem e a estrutura do texto podem ser um atrativo para o aluno.

Sobre a possibilidade de se trabalhar com a leitura, seja ela em nível médio ou superior, cabe destacar que muitas vezes pode acontecer do aluno não conseguir compreender tudo o que o texto propõe apresentar, mas alguns elementos serão apreendidos. Isso perpassa a noção de não leitura que busca apontar que dificilmente se

esgotará uma leitura na primeira vez em que a realiza. O processo de apreensão de sentidos requer novas leituras em diferentes situações e momentos que, favorecido pela história dos sujeitos, tendem a proporcionar novos olhares para uma mesma leitura.

Assim, notamos indícios de que houve uma mudança na forma como os alunos produziram sentidos para o uso da divulgação científica em sala de aula. Já com relação ao livro didático, embora eles acreditem que deve ser utilizado, ainda se manteve uma rejeição sobre a leitura desse material.

De forma positiva, tivemos, durante as discussões alunos que demonstraram acreditar que o ensino não se faz de forma única, a variedade de recursos que podem ser utilizados em sala de aula estão disponíveis e buscam auxiliar o professor no processo de ensino, mas também ajudá-los, uma vez que cada recurso apresenta uma característica diferente.

Um ponto que merece ser colocado nesse momento da leitura do material é relacionado com o conceito de Energia Nuclear que, aparentemente se perdeu em meio às discussões sobre os recursos utilizados.

De fato, trazendo as condições de produção da unidade de ensino, temos que ela foi realizada na disciplina “Conhecimento em Física Escolar I”, na qual por diversas semanas se discutiu o uso de recursos, de forma independente do tema trabalhado, assim, possivelmente os alunos trouxeram esse imaginário de que o mais importante seria a forma de se trabalhar. Isso ficou evidente nas respostas aos questionários, quando perguntamos como eles contariam sobre a leitura, a grande maioria respondeu pensando na forma, o que justifica a baixa quantidade de respostas que envolveram o tema. Destacamos ainda que, por termos apenas três semanas para desenvolver a unidade de ensino, um desenvolvimento mais aprofundando sobre o tema físico se tornou inviável e, portanto, a relação forma-conteúdo não foi abordada.

Diante do nosso interesse na energia nuclear, seria interessante que a professora pesquisadora, em seu processo de mediação trouxesse elementos do conteúdo para a discussão, porém, devido ao tempo disponível, à riqueza da discussão que estava sendo realizada acerca do recurso, esse elemento ficou a desejar, compondo apenas algumas “discussões de corredores” com alguns alunos que, infelizmente não foram gravadas.

Por fim, acreditamos que o trabalho com diferentes recursos em sala de aula, requer uma atenção. Vivemos em uma sociedade em constante evolução e a didática também precisa acompanhar esse processo, então, pensarmos recursos que tornem o aprendizado mais significativo para os alunos tende a ser um ponto chave para a melhoria do sistema educacional.

Assim, acreditamos que nosso trabalho tenha levantado algumas questões que merecem estudos futuros, como por exemplo, como a mudança na linguagem que os livros didáticos utilizam para apresentar conceitos de física clássica e de física moderna e contemporânea, que aparentemente existe, uma vez que a parte de física moderna e contemporânea apresenta uma menor quantidade de dados quantitativos e maior volume de textos, pode interferir na relação que os estudantes tem com o material; a questão do uso de diferentes recursos em sala de aula, aqui trabalhamos com dois, mas, como indicado no nosso primeiro questionário, existem diversos outros que merecem ser apresentados de forma que o futuro professor veja o potencial que cada um possui. Além disso, vimos ainda que textos de divulgação científica mais antigos aparentemente motivaram menos os licenciandos, sendo interessante analisar essa questão com maior profundidade.

## Referências bibliográficas

- ALMEIDA, L.J.M. Afinal, para que(m) serve o livro didático? Os agentes privados na política nacional do livro didático. IN: **XII Congresso Nacional de Educação**. Paraná, 26 a 29 de outubro de 2015. Disponível em < [http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/20704\\_10515.pdf](http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/20704_10515.pdf)> Acesso em: 24 nov. 18.
- ALMEIDA, M.J.P.M. **Discurso da ciência e da escola**. Campinas/SP: Editora de Macedo, 2004.
- ALMEIDA, M.J.P.M.; CASSIANI, S.; OLIVEIRA, O.B. **Leitura e escrita em aulas de ciência: luz, calor e fotossíntese nas mediações escolares**. Florianópolis/SC: Letras contemporâneas, 2008
- ALMEIDA, M.J.P.M.; RICON, A. E. Divulgação Científica e Texto Literário - Uma Perspectiva Cultural em Aulas de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, SC, v. 10, n.1, p. 7-13, 1993. Disponível em < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9791/15138>> Acesso em 24 nov. 18.
- ALMEIDA, M.J.P.M.; SORPRESO, T.P. Memória e formação discursiva na interpretação de textos por estudantes de licenciatura. *Revista brasileira de pesquisa em educação em ciências*. v.10, n.1, 2010. Disponível em < <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2184/1584>> Acesso em 24 nov. 18.
- \_\_\_\_\_. Dispositivo Analítico Para Compreensão Da Leitura De diferentes Tipos Textuais: exemplos referentes à física. *Pró-Posições (UNICAMP. Impresso)*, v. 22, p. 83-95, 2011. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/pp/v22n1/08>> Acesso em 24 nov. 18.
- ANDRADE, A.C.S. *et al.* Analogias e metáforas no ensino e aprendizagem do conceito de átomo: breve análise em livros didáticos. **Scientia Plena**. v.10, n. 4, 2014. Disponível em <<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/1930>> Acesso em 05 dez 19
- ARAPIRACA, J. O. **A USAID e a educação brasileira: um estudo a partir de uma abordagem crítica da teoria do capital humano**. São Paulo/SP: Editora Autores Associados/Cortez Editora, 1982
- ARAÚJO, M.S.T.; ABIB, M.L.V.S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v.25, n. 2. 2003. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a07v25n2.pdf>>. Acesso em 03 dez 19
- AZEVEDO, J.M.L. **Educação como política pública**. 3ªed. Campinas: Autores associados, 2008.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 314p
- BERTOLLI FILHO, C. A divulgação científica na mídia impressa: as ciências biológicas em foco. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 3, p. 351–368, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v13n3/a06v13n3.pdf>>. Acesso em 07 dez. 18
- BOZELLI, F.C. **Analogias e metáforas no ensino de física: o discurso do professor e o discurso do aluno**. 233f. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru/SP. 2005 Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90890>>. Acesso em 05 dez 19
- BRAGA, S.A.M.; MORTIMER, E.F. Os gêneros de discurso do texto de biologia dos livros didáticos de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. V.3, n.3, 2003. Disponível em <<https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2306/1705>> Acesso em 24 nov. 18.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 1.006, de 30/12/38. Estabelece as condições de produção, importação e utilização do livro didático. Disponível em < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1939/decreto-lei-1006-30-dezembro-1938-350741-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso em 21 jul. 17.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Energia Nuclear. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par3\\_cap8.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap8.pdf)>. Acesso em 05 dez 19
- BRASIL. Resolução CD FNDE nº. 60, de 20/11/2009. Dispõe sobre O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) para a educação básica. Disponível em <[https://www.fnede.gov.br/fndelegis/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&sgl\\_tipo=RES&num\\_ato=00000060&seq\\_ato=000&vlf\\_ano=2009&sgl\\_orgao=CD/FNDE/MEC](https://www.fnede.gov.br/fndelegis/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&sgl_tipo=RES&num_ato=00000060&seq_ato=000&vlf_ano=2009&sgl_orgao=CD/FNDE/MEC)> Acesso em 21 jul. 17.

BRASIL. Ministério da Educação. PNLD – FNDE. Disponível em <<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico>> Acesso em 21 jul. 17.

BRASIL. Fundo nacional de desenvolvimento da educação –FNDE. Programas do livro. Dados estatísticos 2017. Disponível em <<http://www.fnde.gov.br/programas/programas-do-livro/livro-didatico/dados-estatisticos>> Acesso em 05 jul. 18.

BRASIL. Censo escolar 2018. **Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira** (INEP). Disponível em <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/censo-escolar>> Acesso em: 23 nov. 18.

BRASIL. Edital de convocação para inscrição no processo de avaliação e seleção de obras didáticas para o programa nacional do livro didático PNLD 2012 – Ensino Médio. 2009. Disponível em <<http://www.fnde.gov.br/centrais-de-conteudos/publicacoes/category/165-editais?download=4835:pnld-2012-edital-consolidado>> Acesso em 05 jul. 18.

BRASIL. Parecer CNE/CES 1.304/2001. 2001. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>> Acesso em: 05 jul. 18.

BRASILEIRO, A.F. **Da versão impressa para o site e o tablet: os casos das revistas Superinteressante e Scientific American**. 2013. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas/SP. Disponível em <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/250816>> Acesso em 24 nov. 18.

BROWN, T.L., LeMAY Jr., H.E., BURSTEN, B.E., BURDGE, J.R. **Química - a ciência central**. 9ª edição. São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2005

BRUGLIATO, E.T. **O uso de gêneros de discurso como possibilitadores da leitura e aprendizagem em aulas de Física**. 133f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira, 2013.

\_\_\_\_\_. **A produção de sentidos sobre a bomba atômica em diferentes tipos de discursos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW), Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas/SP. Disponível em <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/276907>> Acesso em 24 nov. 18.

BRUGLIATO, E.T.; ALMEIDA, M.J.P.M. A leitura de diferentes tipos de discursos no ensino de física: o átomo de Rutherford. IN: **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** (ENPEC), Águas de Lindóia/SP, 24-27 nov. 2015. Disponível em <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0451-1.PDF>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. A produção de sentidos por licenciandos em física a partir da leitura de diferentes tipos de discursos. IN: **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** (ENPEC), Florianópolis/SC, 3-6 jul. 2017. Disponível em <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0474-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. Leitura e mediação em aulas de física no ensino médio: um estudo sobre o experimento de Rutherford. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.12, n.5, 2017. Disponível em <[http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo\\_ID391/v12\\_n5\\_a2017.pdf](http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID391/v12_n5_a2017.pdf)> Acesso em 24 nov. 18.

CANDOTTI, E. *et al.* Autos de Goiânia. **Ciência Hoje**, v.7, n° 40, p.3-5. 1988.

CHAVES, E.G. Goiânia é azul: o acidente com o cézio 137. **RevistaUFG**. v. 9 n. 1, 2007. Disponível em <<https://www.revistas.ufg.br/revistaufg/article/view/48158>>. Acesso em 05 dez 19

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e Pesquisa**. V.30, n.3, p.549-566, set./dez. 2004. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ep/v30n3/a12v30n3.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

CLEMES, G.; GABRIEL FILHO, H.J.; COSTA, S. Vídeo-aula como estratégia de ensino-aprendizagem em física. **Revista técnico-científica do IF-SC**, 1º SICT-SUL, 2012. Disponível em <<http://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/597/427>> Acesso em: 24 nov. 18.

CORACINI, M. J. **Um fazer persuasivo: O discurso subjetivo da ciência**. São Paulo: Pontes, 1991.

CORDEIRO, M.D.; PEDUZZI, L.O.Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V.35, n.3, p.3602, 2013. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n3/a27v35n3.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

CRUZ, F.F.S. Radioatividade e o acidente de Goiânia. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.4, n.3, p. 164-169, dez. 1987. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7842/7213>> Acesso em 24 nov. 18.

CRUZ, A.D.; GLICKMAN, B.W. **Monitoring the genetic health of persons in Goiânia accidentally exposed to ionizing radiation from caesium-137**. Disponível em <<https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/324483>> Acesso em 05 dez 19

CUNHA, M.B.; GIORDAN, M. A divulgação científica na sala de aula: implicações de um gênero. In: GIORDAN, M; CUNHA, M.B. **Divulgação científica na sala de aula: perspectivas e possibilidades**. Ijuí/RS: Editora Unijuí, 2015. p. 67-85.

DAMASIO, F.; TAVARES, A. A divulgação científica fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel : uma proposta com o tema da radioatividade e sua implementação. IN: **XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**. Manaus/AM, 2011.

DIAS, R.H.A.; ALMEIDA, M.J.P.M. Especificidades do jornalismo científico na leitura de textos de divulgação científica por estudantes de licenciatura em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.31, n.4, p.4401-4412, 2009. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n4/v31n4a13.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. A repetição em interpretações de licenciandos em física ao lerem as revistas Ciência Hoje e Pesquisa Fapesp. **Revista Ensaio**, v.12, n.3, p.51-64, set/dez 2010. Disponível em <<https://seer.ufmg.br/index.php/ensaio/article/view/8583/6522>> Acesso em 24 nov. 18.

DUARTE, C.B. *et al.* A importância da História da Ciência na perspectiva de alunos do Ensino Médio: a investigação em uma escola no Pontal do Triângulo Mineiro. IN: **XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ) – Brasília, DF, Brasil – 21 a 24 de julho de 2010**. Disponível em <<http://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R1109-1.pdf>> Acesso em 05 dez 19

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: Átomos, moléculas, núcleos e partículas**, 4a Ed., Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1988

FAILLA, Z. **Retratos da leitura no Brasil 3**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo: Instituto Pró-livro, 2012.

\_\_\_\_\_. **Retratos da leitura no Brasil 4**. Rio de Janeiro: Sextante, 2016. Disponível em <[http://prolivro.org.br/home/images/2016/RetratosDaLeitura2016\\_LIVRO\\_EM\\_PDF\\_FINAL\\_COM\\_CAPA.pdf](http://prolivro.org.br/home/images/2016/RetratosDaLeitura2016_LIVRO_EM_PDF_FINAL_COM_CAPA.pdf)>. Acesso em 05 dez 19

FARIAS, S.A.L.S.; OLIVEIRA, L.A. Gêneros textuais e o livro didático: enfoque formal ou sociocultural? **Eutomia – Revista de literatura e linguística**. V.12, n.1, p.485-505, jul/dez. 2013. Disponível em <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/EUTOMIA/article/view/422/367>> Acesso em 24 nov. 18.

GIRALDELLI, C.G.C.M.. **Gestos de interpretação na leitura de um texto de divulgação científica: crianças em situação escolar**. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Campinas/SP. Disponível em <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/251502>> Acesso em 24 nov. 18.

GOLDEMBERG, J. O futuro da energia nuclear. **Revista Usp**, São Paulo/SP, nº91, p.6-15, set/out/nov. 2011.

GOULART, J.A.B. **Analogias e Metáforas no Ensino de Física: um exemplo em torno da temática de campos**. 147f. 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, 2008. Disponível em <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB\\_dc953c4edd3392f70deef6ad46b19cc4](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB_dc953c4edd3392f70deef6ad46b19cc4)>. Acesso em 05 dez 19

GRIGOLETTO, E. **O discurso de divulgação científica: um espaço discursivo intervalar**. 2005. Instituto de Letras, Tese (doutorado em Letras) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5322/000468633.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 07 dez. 18.

GRILLO, S. V. C.; DOBRANSZKY, E. A.; LAPLANE, A. L. F. Mídia impressa e educação científica: uma análise das marcas do funcionamento discursivo em três publicações. **Caderno Cedes**, v. 24, n. 63, p. 215–236, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/ccedes/v24n63/22595.pdf>>. Acesso em 07 dez. 18.

HÖFLING, H.M. Notas para discussão quanto à implementação de programas de governo: Em foco o Programa Nacional do Livro Didático. **Educação & Sociedade**, ano XXI, nº 70, Abril, 2000. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/es/v21n70/a09v2170.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

HUSSEIN, M.S. Energia Nuclear. **Revista Usp**, São Paulo/SP, nº91, p.56-63, set/out/nov. 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Monthky electricity statistics**. Fevereiro, 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/media/statistics/surveys/electricity/mes.pdf>>. Acesso em 15 fev. 19.

JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e Patologia do saber**. Imago Editora LTDA. Rio de Janeiro. 1976.

KANTOR, C.A., et al. **Física**, 3º ano: ensino médio: livro do professor. 1ªed. São Paulo: Editora PD, 2010 (Coleção quanta física).

KOPP, F.A.; ALMEIDA, V. Analogias e metáforas no ensino de Física Moderna apresentadas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 69-98, abr. 2019. Disponível em < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2019v36n1p69>>. Acesso em 05 dez 19

KRAGH, H. **Quantum generations** – A history of Physics in the twentieth century. New Jersey: Princeton University Press. 5ª ed. 2002.

LANÇA, T. **Newton numa leitura de divulgação científica: produção de sentidos no ensino médio**. 146f. 2005. Dissertação (mestrado em educação) Faculdade de Educação – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2005. Disponível em <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/253078>>. Acesso em 05 dez 19

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino de astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V.24, n.1, p.87-111, abr. 2007. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6055/12760>> Acesso em 24 nov. 18.

LEITE, A.E. **O livro didático de física e a formação de professores: passos e descompassos**. 216f. Tese (doutor em educação). Universidade Federal do Paraná. Setor de Educação. Curitiba, 2013, Disponível em <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/41527/R%20-%20T%20-%20ALVARO%20EMILIO%20LEITE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em 24 nov. 18.

LEITE, A.E.; GARCIA, N.M.D.; ROCHA, M. Tendências de pesquisa sobre os livros didáticos de ciências e física. IN. **X Congresso Nacional de Educação – EDUCERE**. Curitiba/PR. 2011. Disponível em <[http://educere.bruc.com.br/CD2011/pdf/6243\\_3800.pdf](http://educere.bruc.com.br/CD2011/pdf/6243_3800.pdf)> Acesso em 24 nov. 18.

LIMA, G.S.; GIORDAN, M. A divulgação científica em sala de aula: aportes do planejamento de ensino entre professores de ciências. In: GIORDAN, M; CUNHA, M.B. **Divulgação científica na sala de aula: perspectivas e possibilidades**. Ijuí/RS: Editora Unijuí, 2015. p. 285-306.

\_\_\_\_\_. Características do discurso de divulgação científica: implicações da dialogia em uma interação assíncrona. **Investigações em ensino de ciências**. v.22, n.2, p. 83-95, ago. 2017. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/708/pdf>>. Acesso em: 21 fev. 19.

\_\_\_\_\_. Propósitos da divulgação científica no planejamento de ensino. **Revista ensaio pesquisa em educação em ciências**. v.19, p.1-23. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/epec/v19/1983-2117-epec-19-e2932.pdf>>. Acesso em 21 fev. 19.

LIMA, N.W.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C.J.H. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLD 2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.34, n.2, p.435-459, ago. 2017. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n2p435/34624>> Acesso em 24 nov. 18.

LIMA, L.G.; RICARDO, E.C. A literatura como ferramenta didática no ensino de mecânica quântica para o ensino médio. IN: **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**, Uberlândia/MG, 2015. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0754-1.pdf>>. Acesso em 28 jan. 19.

LIPSZTEIN, J.L.; RAMALHO, A.T. Em busca do cézio. **Ciência Hoje**, v.7, n° 40, p.28. 1988.

MAKOWIECKY, S. Representação – a palavra, a ideia, a coisa. **Cadernos de pesquisa interdisciplinar em ciências humanas**. n.57, p.1-24, dez.2003. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/2181>>. Acesso em 21 fev. 19.

MANTOLVÃO NETO, A. L. **Discursos de genética em livro didático: implicações para o ensino de biologia**. 209f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/169238/342289.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em 05 dez 19.

MARCHI, F.; LEITE, C. O papel do livro de divulgação científica no ensino de física: do contexto de produção à sua recepção. IN: **XIII Encontro de pesquisa em Ensino de Física (EPEF)**, Foz do Iguaçu/PR, 2011. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/enf/2011/sys/resumos/T0374-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. Uma possibilidade de leitura no ensino de física: o tema buracos negros através de um livro de divulgação científica. IN: **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**, São Paulo/SP, 2013. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0889-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

MARTINS, V.R. **O ensino da física moderna nos livros didáticos do início do século XX**. São Paulo. 2015. Dissertação (mestre em ensino de ciências) Universidade de São Paulos. Programa de pós-graduação em ensino de ciências. São Paulo, 2015, 90f. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-03062015-150517/pt-br.php>> Acesso em 24 nov. 18.

MATTHEWS, M.R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3: p. 164-214, dez. 1995. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>>. Acesso em 05 dez 19

MENDES, G.H.G.I.; BATISTA, I.L. Matematização e ensino de Física: uma discussão de noções docentes. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 22, n. 3, p. 757-771, 2016. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132016000300757&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132016000300757&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em 05 dez 19

MIGUEL, E.A.; PETRONI, M.R. A importância da leitura para os sujeitos das escolas de Juara. IN: **Simpósio Internacional de Estudos de Gêneros Textuais**. Caxias do Sul/RS. Agosto 2009. Disponível em <[https://www.ucs.br/ucs/extensao/agenda/eventos/vsiget/portugues/anais/arquivos/a\\_importancia\\_da\\_leitura\\_para\\_os\\_sujeitos\\_das\\_escolas\\_de\\_juara.pdf](https://www.ucs.br/ucs/extensao/agenda/eventos/vsiget/portugues/anais/arquivos/a_importancia_da_leitura_para_os_sujeitos_das_escolas_de_juara.pdf)>. Acesso em 04 dez 19

MIRANDA, S.R.; LUCA, T.R. O livro didático de história hoje: um panorama a partir do PNLD. **Revista Brasileira de História**. São Paulo, v. 24, n° 48, p.123-144 – 2004. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbh/v24n48/a06v24n48.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

MOREIRA, M.A.; MASSONI, N.T.; OSTERMANN, F. “História e epistemologia da física” na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2007. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172007000100019&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172007000100019&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em 05 dez 19

MORAES, P.R. *et al.* A teoria das representações sociais. **Revista direito em foco**. p.1-14, 2014. Disponível em: <[http://unifia.edu.br/revista\\_eletronica/revistas/direito\\_foco/artigos/ano2013/teoria\\_representacoes.pdf](http://unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/direito_foco/artigos/ano2013/teoria_representacoes.pdf)>. Acesso em 21 fev. 19.

NASCIMENTO, T. G. Contribuições da análise do discurso e da epistemologia de Fleck para a compreensão da divulgação científica e sua introdução em aulas de ciências. **Revista ensaio pesquisa em educação em ciências**, v. 7, n. 2, p. 127-144, 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/epec/v7n2/1983-2117-epec-7-02-00127.pdf>>. Acesso em 07 dez. 18.

NEVES, M.C.D. A história da ciência no ensino de Física. **Revista Ciência & Educação**, v.5, n.1, p. 73-81. 1998. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73131998000100007&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73131998000100007&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em 05 dez 19

NOGUEIRA, P. Qual o futuro da bomba? **Revista Galileu**, São Paulo/SP: Editora Globo, nº169, p.30-41, agosto 2005.

OLIVEIRA, J.M.L. **Nanociência e nanotecnologia no ensino médio: leituras de textos de divulgação científica na produção de significados sobre física moderna e contemporânea**. 2013. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas/SP. 2013.

OLIVEIRA, J.M.L.; FERREIRA, C.U.; ALMEIDA, M.J.P.M. Leitura de um texto de divulgação científica sobre nanotecnologia no ensino médio. IN: **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**, São Paulo/SP, 2013. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0305-2.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

ORLANDI, E. P. **A linguagem e seu funcionamento – as formas do discurso**. 2 ed. - Campinas: Pontes, 1987.

\_\_\_\_\_. Discurso imaginário, social e conhecimento. **Em aberto**, Brasília, ano 14, n.61, jan/mar, 1994. Disponível em: < <http://www.emaberto.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/download/1943/1912>>. Acesso em: 23 jul. 18.

\_\_\_\_\_. Texto e discurso. **Rev. do Inst. Letras/UFRGS**, v.9, n.23, p.111-118, 1995. Disponível em < <https://seer.ufrgs.br/organon/article/view/29365/18055>> Acesso em: 24 nov. 18

\_\_\_\_\_. **A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso**. 4ª ed. Campinas, SP: Pontes, 1996.

\_\_\_\_\_. Divulgação científica e efeito leitor: uma política social urbana. In: GUIMARÃES, E. **Produção e circulação do conhecimento**. Campinas/SP: Pontes, 2001. p. 21-30

\_\_\_\_\_. Análise de Discurso. In: ORLANDI, E. P.; RODRIGUES, S. L. **Introdução às ciências da linguagem: Discurso e Textualidade**. Campinas/SP: Pontes, 2006. p. 11-31

\_\_\_\_\_. **Introdução às ciências da linguagem – Discurso e textualidade**. Suzy Lagazzi Rodrigues e Eni P. Orlandi (Orgs). – 2ª ed. Campinas/SP: Pontes Editores, 2010.

\_\_\_\_\_. **Discurso em análise: sujeito, sentido e ideologia**. Campinas/SP: Pontes editores, 2012a.

\_\_\_\_\_. **Discurso e leitura**. São Paulo/SP: Editora Cortez, 9ªed, 2012b.

PAGLIARINI, C.R. **Leituras de Cientistas do início da física quântica no ensino médio: fronteiras com a física clássica**. 2016. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas/SP. 2016.

PAGLIARINI, C.R.; ALMEIDA, M.J.P.M. Produção de sentidos numa leitura de divulgação científica sobre física quântica no ensino médio. IN: **XV Encontro de pesquisa em Ensino de Física (EPEF)**, Maresias/SP, 2014. Disponível em < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xv/sys/resumos/T0198-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. Sentidos produzidos por estudantes do ensino médio na leitura de um texto de cientista do início da física quântica. IN: **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, Águas de Lindóia/SP, 24-27 nov. 2015. Disponível em < <http://www.abrapenec.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1361-1.PDF>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. Leituras por alunos do ensino médio de textos de cientistas sobre o início da física quântica. **Ciência & Educação**, v. 22, p. 299-317, 2016. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v22n2/1516-7313-ciedu-22-02-0299.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

PAGLIARINI, C.R.; ALMEIDA, M.J.P.M., FONTES, G.S. Leituras de sites relacionados à Energia Nuclear no ensino médio. IN: **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** (ENPEC), Águas de Lindóia/SP, 10-14 nov. 2013. Disponível em <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0628-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

PEREIRA, A.A.G. **O Documentário de divulgação científica e a discussão de aspectos da física moderna e contemporânea na formação inicial de professores de física**. 2017. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática). Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas/SP. 2017.

PEREIRA, J.; LONDERO, L.; ALMEIDA, M.J.P.M. Produção de sentidos da física de partículas mediante a leitura de textos por alunos do ensino médio. IN: **XIV Encontro de pesquisa em Ensino de Física** (EPEF), Maresias/SP, 2012.

PEREIRA, J., LONDERO, L. O ensino de partículas elementares por meio da leitura de “Alice no país do quantum”. IN: **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física** (SNEF), São Paulo/SP, 2013. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0680-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

PERRENOUD, P. **Construir: as competências desde a escola**. Traduzido por Magne, B. C. Porto Alegre: Artmed, 1999.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em Contextos: pessoal, social e histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria**. 1ªed. São Paulo: FTD, 2010.

PORTELA, F.; LICHTENTHÄLER FILHO, R. **Energia nuclear**. 10ª ed. São Paulo/SP: Ática, 2000

POSSENTI, S. Notas sobre linguagem científica e linguagem comum. **Caderno CEDES**, n. 41, 1997, p. 9- 24

PRADO, F.D. Experiências curriculares com história e filosofia da física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.6, Número Especial: 9-17. jun. 1989. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10066>>. Acesso em 05 dez 19

PRESTES, M.E.B.; CALDEIRA, A.M.A. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 1-16, 2009. Disponível em < <http://www.abfhib.org/FHB/FHB-04/FHB-v04-0-Maria-Elice-Prestes-Ana-Maria-Caldeira.pdf>>. Acesso em 05 dez 19

RODRIGUES, L.R.S. **Os gêneros discursivos no livro didático do ensino médio**. São Paulo, 2007. Dissertação (mestre em letras). Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo, 2007. 102f. Disponível em < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8142/tde-27112009-145912/pt-br.php>> Acesso em 24 nov. 18.

SALÉM, S.; KAWAMURA, M. R. O texto de divulgação e o texto didático: conhecimentos diferentes? In: **V Encontro De Pesquisa Em Ensino De Física** (EPEF), 1996, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBF, 1996. Disponível em < [http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos\\_diversos/EPEF/V/V-Encontro-de-Pesquisa-em-Ensino-de-Fisica.pdf](http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/EPEF/V/V-Encontro-de-Pesquisa-em-Ensino-de-Fisica.pdf)> Acesso em 24 nov. 18.

SANTOS, D.V.C. Acerca do conceito de representação. **Revista de teoria da história**. v.3, n.6, p.27-53, dez. 2011. Disponível em: < <https://www.revistas.ufg.br/teoria/article/view/28974>>. Acesso em 21 fev. 19.

SÉRÉ, M., COELHO, S. M., NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, abr. 2003. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6560>>. Acesso em 24 mar. 2020.

SILVA, A. A.; TERRAZZAN, E. A.. Reflexões sobre uma experiência de Estágio Curricular realizado em regime de tutoria e de trabalho colaborativo. In: **XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física** (SNEF), São Luís / MA. 2007. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/resumos/T0138-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

SILVA, C.A.S.; MARTINS, M.I. Analogias e metáforas nos livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V.27, n.2, p.255-287, ago. 2010. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n2p255/13530>> Acesso em 24 nov. 18.

SILVA, A.C. **Leitura sobre ressonância magnética nuclear em aulas de física do ensino médio**. 2013. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas/SP. 2013.

SILVA, A.C.; ALMEIDA, M.J.P.M. Posições de ingressantes sobre a possibilidade de se ensinar física moderna e contemporânea no ensino médio. IN: **XII Encontro de pesquisa em Ensino de Física (EPEF)**, Águas de Lindóia/SP, 2010.

\_\_\_\_\_. Uma leitura de divulgação científica sobre ressonância magnética no ensino médio. IN: **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, Águas de Lindóia/SP, 27-29 nov. 2013. Disponível em < <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0188-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. A leitura por alunos do ensino médio de um texto considerado de alto grau de dificuldade. **Alexandria**, v.7, n.1, p. 49-73, maio/2014a. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/38177/29107>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. Ressonância magnética: leitura e mediação do professor no ensino médio. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v.13, n.3, p.334-354, 2014b. Disponível em <[http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen13/REEC\\_13\\_3\\_5\\_ex837.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen13/REEC_13_3_5_ex837.pdf)> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. A noção de mobilização na associação da física a objetos tecnológicos contemporâneos. **Ciência e educação**, v.21, n.2, p.417-434, 2015. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v21n2/1516-7313-ciedu-21-02-0417.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

SILVA, A.C.; ALMEIDA, M.J.P.M.; HALLACK, M.L. Uma breve leitura de divulgação científica sobre o paradoxo Einstein, Podolsky e Rosen por ingressantes na universidade. IN: **XIV Encontro de pesquisa em Ensino de Física (EPEF)**, Maresias/SP, 2012. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xiv/sys/resumos/T0053-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. Fragmentos do paradoxo EPR em um trecho de divulgação científica: uma pesquisa de cunho exploratório com ingressantes na universidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, p. 53, 2015. Disponível em < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n1p53/29037>> Acesso em 24 nov. 18.

SILVA, C.P. *et al.* Subsídios para o uso da história das ciências no ensino: exemplos extraídos das geociências. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 3, p. 497-517, 2008. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132008000300009&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132008000300009&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em 05 dez 19

SILVA, D.E. **Divulgação científica no ensino médio: a equação relativística entre massa e energia**. 2012. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas/SP. 2012.

SILVA, F.L.; PESSANHA, P.R.; BOUHID, R. Abordagem do tema controverso Radioatividade/Energia Nuclear em sala de aula no Ensino Médio – Um Estudo de Caso. IN: **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**. Campinas/SP, 2011. Disponível em <[http://abrapecnet.org.br/atas\\_enpec/viiienpec/resumos/R1502-1.pdf](http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viiienpec/resumos/R1502-1.pdf)> Acesso em 24 nov. 18.

SILVA, H.C. Leitura de um texto de divulgação científica: Um exemplo em gravitação. **Ciência & Ensino**, n.5. dez. 1998.

\_\_\_\_\_. Debate o que é divulgação científica? **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 1, p. 53–59, 2006. Disponível em: <<http://200.133.218.118:3535/ojs/index.php/cienciaensino/article/view/39/98>>. Acesso em 07 dez. 18.

SILVA, L.L. **O funcionamento de imagens e a produção de sentidos na leitura da relatividade restrita**. 2013. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas/SP. 2013.

SILVA, J.A.; KAWAMURA, M.R.D. A natureza da luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 317-340, 2001. Disponível em: < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6667/14045>>. Acesso em 28 jan. 19.

SILVA, M.N. M.; ROCHA FILHO, J. B. O papel atual da experimentação no ensino de física. IN: XI Salão de Iniciação Científica – PUCRS, 09 a 12 de agosto de 2010. 2010. Disponível em: < [http://www.pucrs.br/edipucrs/XISalaoIC/Ciencias\\_Exatas\\_e\\_da\\_Terra/Fisica/84372-MAURICIONOGUEIRAMACIELDASILVA.pdf](http://www.pucrs.br/edipucrs/XISalaoIC/Ciencias_Exatas_e_da_Terra/Fisica/84372-MAURICIONOGUEIRAMACIELDASILVA.pdf)>. Acesso em 24 mar. 2020

SILVA, W.M.; ZANOTELLO, M. O debate científico escolar como estratégia para a leitura de textos de divulgação científica. IN: **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física** (SNEF), Uberlândia/MG, 2015. Disponível em < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0692-1.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

\_\_\_\_\_. Discursos sobre física contemporânea no ensino médio a partir da leitura de textos de divulgação científica. **Revista brasileira de pesquisa em educação em ciências**, v.17, n.1, p.45-74, abr/2017. Disponível em < <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2729/3244>> Acesso em 24 nov. 18.

SOARES, M.L.F. **O papel do autor de livro didático para o ensino de língua inglesa como uma língua estrangeira**: um estudo de identidade autoral. Rio de Janeiro, 2007. Dissertação (mestre em letras). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Letras. Rio de Janeiro, 2007. 148f. Disponível em < [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=10704@1](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=10704@1)> Acesso em 24 nov. 18.

SORPRESO, T.P. **Organização de episódios de ensino sobre a “questão nuclear” para o ensino médio: foco no imaginário de licenciandos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas/SP. 2008.

\_\_\_\_\_. **Energia nuclear mediante o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade na formação inicial de professores de Física**. 2013. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas/SP. 2013.

SOUZA, C. Políticas Públicas: questões e temáticas de pesquisa. **Caderno CRH**, n.39, jul/dez, 2003. p.11-24. Disponível em < <https://portalseer.ufba.br/index.php/crh/article/view/18743/12116>> Acesso em 24 nov. 18.

SOUZA, P.H.R.; ROCHA, M.B. Caracterização dos textos de divulgação científica inseridos em livros didáticos de biologia. **Investigações em Ensino de Ciências**. V.20, n.2, p.126-137, 2015. Disponível em < <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/46/32>> Acesso em 24 nov. 18.

SOUZA, S.A.F. **Conhecendo análise de discurso: linguagem, sociedade e ideologia**. Manaus/AM: Editora valer, 2006.

STRIQUER, M.S.D. O gênero do discurso no livro didático. **Travessias**. V.3, n.2, 2009. Disponível em <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/travessias/article/view/3394/2680>> Acesso em 24 nov. 18.

VEIGA, J.E. **Energia Nuclear**: do anátema ao diálogo. São Paulo/SP: SENAC São Paulo, 2011.

VEIGA-NETO, A. TENSÕES DISCIPLINARES E ENSINO MÉDIO. IN **ANAIS DO I SEMINÁRIO NACIONAL: CURRÍCULO EM MOVIMENTO** – Perspectivas Atuais, Belo Horizonte, novembro de 2010. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/docman/dezembro-2010-pdf/7178-4-3-tensoes-disciplinares-ensinomedio-alfredo-veiga/file>> Acesso em 27 mar. 2020.

VIEIRA, S.A. Césio-137, um drama recontado. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142013000100017](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100017)>. Acesso em 05 dez 19

YAMAMOTO, K.; FUKU, L.F. **Física para o ensino médio**, volume 3. 1ªed. São Paulo: Saraiva, 2010.

ZAMBON, L.B.; TERRAZZAN, E.A. Livros didáticos de física e sua (sub)utilização no ensino médio. **Revista Ensaio** – Pesquisa em educação em ciências. V.19, 2017. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/epec/v19/1983-2117-epec-19-e2668.pdf>> Acesso em 24 nov. 18.

ZAMBONI, L.M.S. **Cientistas, jornalistas e a divulgação científica: subjetividade e heterogeneidade no discurso da divulgação científica**. Campinas: Autores associados, 2001.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1989. Disponível em: <[https://docgo.net/viewdoc.html?utm\\_source=joao-zanetic-fisica-tambem-e-cultura](https://docgo.net/viewdoc.html?utm_source=joao-zanetic-fisica-tambem-e-cultura)>. Acesso em 28 jan. 19.

ZANOTELLO, M.; ALMEIDA, M. J. P. M. Disciplina de física básica na educação superior introdução. **Revista Ensaio**, v. 15, n. 3, p. 113–130, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/epec/v15n3/1983-2117-epec-15-03-00113.pdf>>. Acesso em 07 dez. 18.

# **Anexos e Apêndices**

## Apêndice

## Apêndice I – Questionário Inicial

Leia completamente cada questão antes de iniciar sua resposta. Respondendo a este questionário você estará colaborando para que possamos analisar, de forma mais adequada, o desenvolvimento de nossas aulas, e melhorar a nossa docência futura. Caso julgue necessário, sinta-se à vontade para utilizar o verso desta folha para concluir suas respostas. Lembramos ainda que, embora os questionários sejam identificados com nome e RA, se trata apenas de um controle das pesquisadoras. Todas as informações veiculadas não serão relacionadas diretamente com essa identificação.

Nome: \_\_\_\_\_ RA: \_\_\_\_\_

1- Você já fez outro curso? Se sim, qual?

\_\_\_\_\_

2- Você trabalha? Se sim, com o que?

\_\_\_\_\_

3- Imagine-se organizando uma aula de Física para o Ensino Médio. Comente como você acha que poderiam ser utilizados os seguintes recursos e qual a importância e possíveis problemas dessa utilização: a) Livro didático b) Exercícios semelhantes a outros já resolvidos em classe pelo professor c) Problemas d) Textos de Divulgação científica, e) Textos literários f) Textos de história da ciência g) Histórias em Quadrinhos h) Material para aulas experimentais i) Vídeos j) Sua voz em uma aula expositiva k) Giz para escrever na lousa l) Computador.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

4- Que tipo de recurso(s), como o(s) apresentado(s) acima, você utilizaria em uma aula de Física para:

a) Melhorar a formação cultural dos alunos.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

b) Os alunos aprenderem Física.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

5- Você, quando estudante do Ensino Médio, teve contato com algum (ns) dos recursos apresentados na questão 2? Se sim, como se sentiu fazendo a (s) atividade(s) com esse(s) recurso(s)?

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6- a) Você já ouviu falar ou estudou algo sobre Energia Nuclear? Se sim, b) Onde você teve esse contato?  
 c) Se sim, o que você sabe sobre o assunto?

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Apêndice II – Questionário referente à leitura do Livro Didático.

**Respondendo a este questionário você estará colaborando para que possamos analisar, de forma mais adequada, o desenvolvimento desta aula, e melhorar a nossa docência futura. Lembramos que, caso julgue necessário, você pode utilizar o verso dessa folha para concluir suas respostas.**

Nome: \_\_\_\_\_ RA: \_\_\_\_\_

1- a) Você gosta de ler?

Sim  Não

b) Se não gosta de ler, às vezes lê por obrigação? Se sim, o quê? Se não, por que?

Se gosta de ler, que tipo de leitura e quando costuma ler?

---



---

2- a) Por onde você estudava para as aulas de Física do Ensino Médio?

---



---

b) Você acha que esse recurso era o melhor para estudar Física? Justifique sua resposta.

---



---

3- Aqui você leu um trecho extraído de livro didático.

a) O que tem a favor e contra essa leitura?

---



---

b) Você vê diferenças desse livro que leu para: a) outros livros didáticos; b) para histórias em quadrinhos; c) para livros de literatura, d) para textos de divulgação científica? Etc. Se sim, quais as principais diferenças que você apontaria?

---



---



---

4- a) Você acha que o tema que estudou nesta aula é relevante para ser estudado no Ensino Médio?

Sim  Não

b) Se não, por que?

Se sim, acredita que o que você leu é adequado para estudar esse tema, ou haveria uma forma melhor para trabalhá-lo?

---



---

5- Como você explicaria para um conhecido seu o que leu hoje?

---



---



---



---

Apêndice III – Apresentação elaborada a partir das respostas dos alunos ao Apêndice II

# Discussão referente a aula de 23/05

---

CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I – LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Imagine-se organizando uma aula de Física para o Ensino Médio. Comente como você acha que poderiam ser utilizados os seguintes recursos e qual a importância e possíveis problemas dessa utilização: a)Livro didático b)Exercícios semelhantes a outros já resolvidos em classe pelo professor c)Problemas d)Textos de Divulgação científica, e)Textos literários f)Textos de história da ciência g)Histórias em Quadrinhos h)Material para aulas experimentais i)Vídeos j)Sua voz em uma aula expositiva k)Giz para escrever na lousa l)Computador

- 
- Grande parte considerou que todos os recursos tem sua importância, mesmo que com diferentes possibilidades de uso:
- Atividade complementar
  - Leitura prévia
  - Desenvolvimento da aula
  - Curiosidade
  - Contextualização
  - Aproximação do aluno

CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I – LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Imagine-se organizando uma aula de Física para o Ensino Médio. Comente como você acha que poderiam ser utilizados os seguintes recursos e qual a importância e possíveis problemas dessa utilização: a) Livro didático b) Exercícios semelhantes a outros já resolvidos em classe pelo professor c) Problemas d) Textos de Divulgação científica, e) Textos literários f) Textos de história da ciência g) Histórias em Quadrinhos h) Material para aulas experimentais i) Vídeos j) Sua voz em uma aula expositiva k) Giz para escrever na lousa l) Computador

➤ Grande parte considerou que todos os recursos tem sua importância, mesmo que com diferentes possibilidades de uso:

- Atividade complementar
- Leitura prévia
- Desenvolvimento da aula
- Curiosidade
- Contextualização
- Aproximação do aluno

**De que maneira vocês acreditam que, oferecer diferentes alternativas para os alunos e em diferentes momentos pode ajudar no seu entendimento de conceitos físicos e no seu desenvolvimento pessoal?**

CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I - LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA

## Sobre a leitura dos livros didáticos...

### Prós

- Texto interessante
- Texto explicativo
- Texto detalhado
- Texto com conteúdo

### Contras

- Texto longo/cansativo
- Necessidade de conhecimento prévio
- Superficialidade

CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I - LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA

## Sobre a leitura dos livros didáticos...

### Prós

- Texto interessante
- Texto explicativo
- Texto detalhado
- Texto com conteúdo

**Diante do tema apresentado – Energia Nuclear – vocês acreditam que a leitura do livro didático pode motivar os alunos e auxiliá-los no aprendizado?**

### Contras

- Texto longo/cansativo
- Necessidade de conhecimento prévio
- Superficialidade

**Vocês acreditam que outras formas de se trabalhar seriam mais interessantes?**

CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I – LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA

História em Quadrinhos

Divulgação científica

Livro didático

Texto original de cientista

Poesias

Músicas

Filmes

Texto de ficção

Artigos científicos

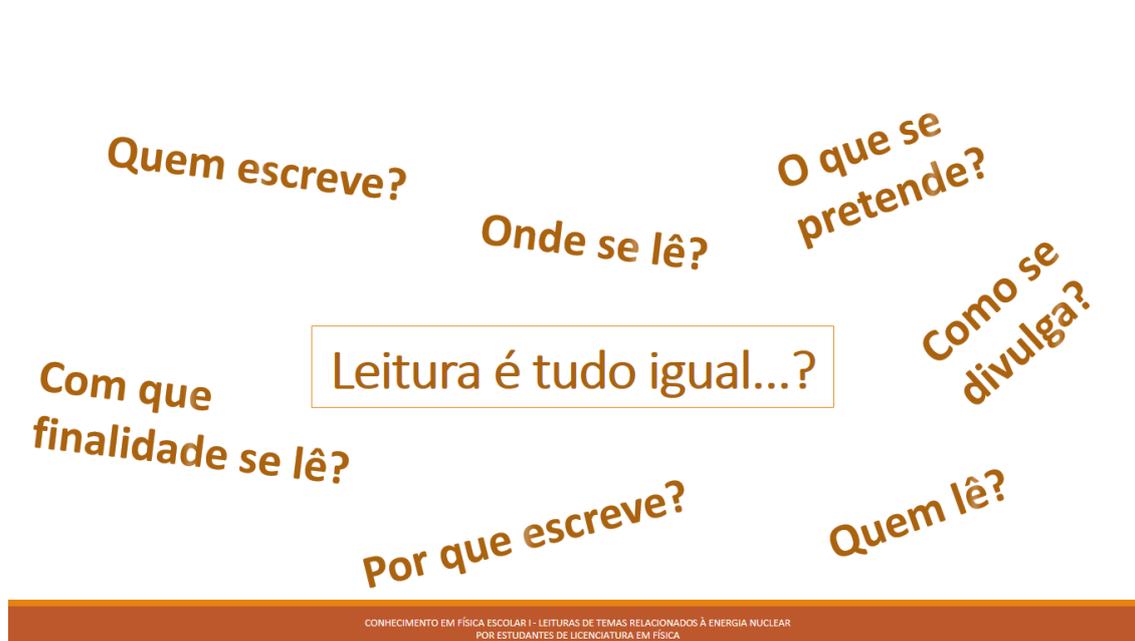
Roteiro teatral

Romances

Textos paradidáticos

Documentários

CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I – LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA



## Apêndice IV – Questionário referente à leitura da Divulgação Científica

**Respondendo a este questionário você estará colaborando para que possamos analisar, de forma mais adequada, o desenvolvimento desta aula, e melhorar a nossa docência futura. Lembramos que, caso julgue necessário, você pode utilizar o verso dessa folha para concluir suas respostas.**

Nome: \_\_\_\_\_ RA: \_\_\_\_\_

- 1- a) Quando falamos em ler uma divulgação científica, que tipo de material você achou que fosse?

\_\_\_\_\_

- b) O texto apresentado atendeu as suas expectativas? Se não, o que esperava que fosse diferente?

\_\_\_\_\_

- 2- Muita gente ainda tem dificuldade em temas relacionados com a Energia Nuclear. A partir da sua leitura, como você escreveria sobre o tema para uma pessoa que não entende do assunto?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- 3- Sobre ler material de divulgação científica: Você acredita que essa leitura possa auxiliar no aprendizado de Física?

Sim

Não

Se sim, em que sentido?

Se não, por quê?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- 4- a) Você acha que o material pelo qual estudou nesta aula é relevante para ser trabalhado no Ensino Médio?

Sim

Não

b) Se não, por que?

Se sim, com que finalidade e em que momento?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Apêndice V - Apresentação elaborada a partir das respostas dos alunos ao Apêndice IV

# Discussão referente a aula de 30/05

---

CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I - LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Quando falamos em ler uma Divulgação Científica, que tipo de material você achou que fosse?

---

**Notícia sobre ciência**

**Pesquisas acadêmicas**

**Relacionado com o  
cotidiano**

**Texto Jornalístico**

**Material superficial**

**Texto informativo**

**Texto formal e difícil**

**Divulgação de dados**

**Texto técnico**

Quando falamos em ler uma Divulgação Científica, que tipo de material você achou que fosse?

**Notícia sobre ciência**

**Pesquisas acadêmicas**

**Relacionado com o cotidiano**

**Texto Jornalístico**

**Material superficial**

**Texto informativo**

**Texto formal e difícil**

**Divulgação de dados**

**Texto técnico**

**O texto lido atendeu suas expectativas?  
Alguma(s) dela(s) mudou(aram)?  
A leitura foi mais fácil, mais difícil,  
ou apenas diferente da do livro didático?**

A leitura pode auxiliar no aprendizado?

Relacionar o assunto com o cotidiano

Fixar e entender conceitos

Despertar o interesse/Motivar

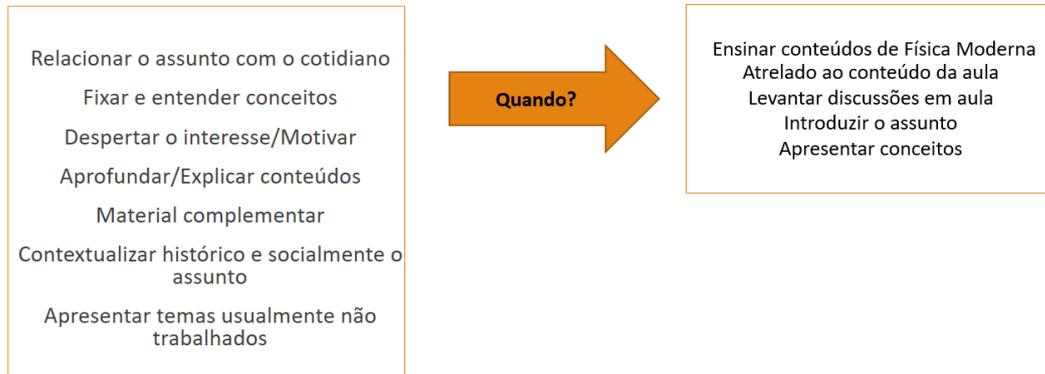
Aprofundar/Explicar conteúdos

Material complementar

Contextualizar histórico e socialmente o assunto

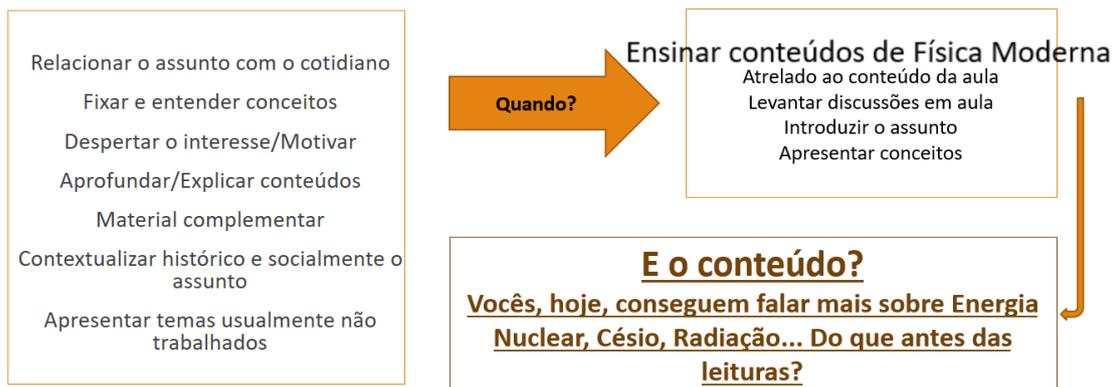
Apresentar temas usualmente não trabalhados

## A leitura pode auxiliar no aprendizado?



CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I – LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
 POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA

## A leitura pode auxiliar no aprendizado?



CONHECIMENTO EM FÍSICA ESCOLAR I – LEITURAS DE TEMAS RELACIONADOS À ENERGIA NUCLEAR  
 POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Apêndice VI – Atividade de elaboração de uma proposta de aula

**Respondendo a este questionário você estará colaborando para que possamos analisar, de forma mais adequada, o desenvolvimento desta aula, e melhorar a nossa docência futura. Lembramos que, caso julgue necessário, você pode utilizar o verso desta folha para concluir suas respostas.**

Nome (s) Completo(s):

---

- 1- Realizar uma proposta de aula para o Ensino Médio utilizando algum(ns) recursos apresentados nas duas últimas aulas. Se achar conveniente pode também incluir outros recursos.

**Propomos a seguinte estrutura para a aula:**

- Objetivos
- Recurso (s) escolhido(s)
- Conteúdo(s) trabalhado(s)
- Procedimentos utilizados na aula
- Modo (s) de avaliação
- Bibliografia

## Anexos

Anexo I – Trechos extraídos dos livros didáticos:

1- PIETROCOLA, M et al. Física em contextos: Pessoal, social e histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria. 1ªed. São Paulo: FTD, 2010.

### 4.3 Fissão nuclear e a produção de energia

Você já deve ter ouvido falar em energia nuclear. Para muitas pessoas, o termo nuclear remete a lembranças ruins, como Hiroshima e Nagasaki, Chernobyl, Goiânia, além de vários acidentes envolvendo radiação. Existe até mesmo uma música de Vinícius de Moraes, cantada pelo extinto conjunto *Secos e Molhados*, que faz menção às crianças vítimas da bomba: "Pensem nas crianças mudas telepáticas [...] Da rosa de Hiroshima, a rosa hereditária, a rosa radioativa estúpida e inválida",

Toda essa carga negativa gerou nas pessoas certo medo e desconfiança em relação a tudo o que se relaciona à radiação e à questão nuclear. No Brasil, esses reflexos se fizeram sentir no momento em que foi anunciada a construção das usinas nucleares Angra I e Angra II em Angra dos Reis, no Rio de Janeiro. Atualmente, a construção de usinas nucleares retorna à agenda nacional, com a retomada da construção de Angra III. Dentre os motivos disso, como forma de produção de energia em grande escala de baixo custo e baixo impacto sobre o efeito estufa.

Para que você possa formar uma opinião sobre essa delicada questão é fundamental conhecer sobre a energia nuclear e o modo como é manuseada nos reatores das usinas. Com esse conhecimento inicial, você poderá obter mais informações e se posicionar sobre a questão.

#### O conhecimento técnico

No caso das estrelas, e em particular do Sol, vimos que os átomos de hidrogênio e de outros elementos leves, como hélio, carbono e oxigênio, se combinam num processo chamado  **fusão nuclear**  e irradiam luz e calor. Nas reações de  **fissão nuclear** , tal como ocorre nas usinas, temos o oposto: em vez de fundir, existe a quebra de átomos mais pesados, formados por muitos núcleons. Tanto na fissão como na fusão existe uma diminuição de massa do núcleo que é transformada em energia.

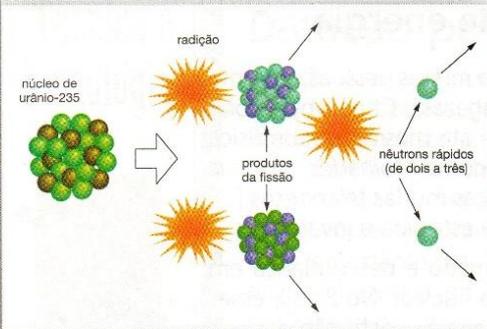
A fissão nuclear foi descoberta pelos alemães Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassman (1902-1980) e nomeada pelo biólogo americano William A. Arnold pela associação com os processos biológicos de divisão celular. Sobre essa descoberta, Otto declarou:

*"Em particular, Fermi concluiu que, ao irradiar urânio com nêutrons ele havia formado elementos transurânicos, isto é: elementos com número atômico mais elevado que o do urânio. A senhorita Lise Meitner, Fritz Strassmann e eu decidimos repetir e ampliar estas experiências muito interessantes. Nós nos considerávamos bem qualificados para realizá-las. Os físicos, Lise Meitner e eu, havíamos trabalhado juntos em problemas de radioatividade durante mais de trinta anos. Fritz Strassmann, meu amigo, possuía uma experiência única em Química Analítica Inorgânica, e eu havia estado no campo da radioquímica desde os primeiros dias do começo do século, faz já muitos anos, com resultados muito bons.*

*Durante os quatro anos de trabalho em conjunto, desde 1934 até 1938, publicamos numerosos trabalhos — Meitner, Hahn e Strassmann acreditando que havíamos isolado isótopos dos elementos 93 e 96, e nossos resultados foram geralmente aceitos. Mas, no final do ano de 1938, quando Lise Meitner se viu obrigada a sair da Alemanha e havia emigrado para a Suécia, Dr. Strassmann e eu chegamos à espantosa conclusão de que o impacto do nêutron sobre o núcleo de urânio produzia sua fissão em dois núcleos de tamanho, médio, processo que previamente não seria considerado possível. Esses resultados que nós publicamos com alguma vacilação foram prontamente confirmados por físicos da Dinamarca, Estados Unidos e outros países."*

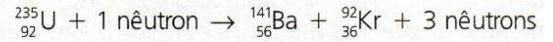
MARTINS, J. B. *A história do átomo: de Demócrito aos quarks*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2001, p.135.

Editoria de arte



No destaque, a fissão de um núcleo de urânio-235.

A comunicação da fissão foi apresentada no dia 22 de dezembro de 1938. Um ano mais tarde, Niels Bohr e John A. Wheeler (1911-2008) desenvolveram a teoria da fissão. Uma das possíveis reações de fissão do urânio é a seguinte:



A presença do bário, fragmento da fissão, foi identificada como produto do bombardeamento do urânio por nêutron. Esse processo é denominado fissão induzida por nêutrons.

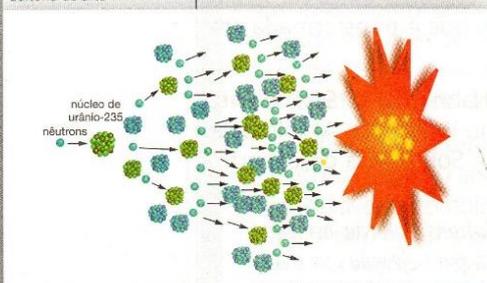
Nesse caso, o átomo de urânio foi quebrado em duas partes: um átomo de bário e um átomo de criptônio. Nessa reação há a produção de  $3 \cdot 10^{-11}$  J, o que equivale a perda de 0,215 u.m.a ou o equivalente a  $35,7 \cdot 10^{-26}$  g. Também há produção de muita energia a partir do uso de uma pequena quantidade de combustível nuclear.

Nessa reação, o urânio teve de ser bombardeado com nêutrons para poder se dividir. Não imagine a quebra do urânio como um impacto do nêutron, como acontece com uma vidraça sendo espatifada por uma pedra. O processo ocorre por causa da instabilidade gerada no núcleo do urânio ao receber um nêutron adicional.

Existem átomos que possuem núcleos instáveis por natureza. A fissão espontânea é muito rara; por exemplo, a fissão espontânea do urânio-238 ( ${}^{238}\text{U}$ ) tem meia-vida igual a  $10^{16}$  anos.

A compreensão do mecanismo da fissão nuclear e de como controlá-la foi rapidamente aplicada à construção de usinas nucleares.

Editoria de arte

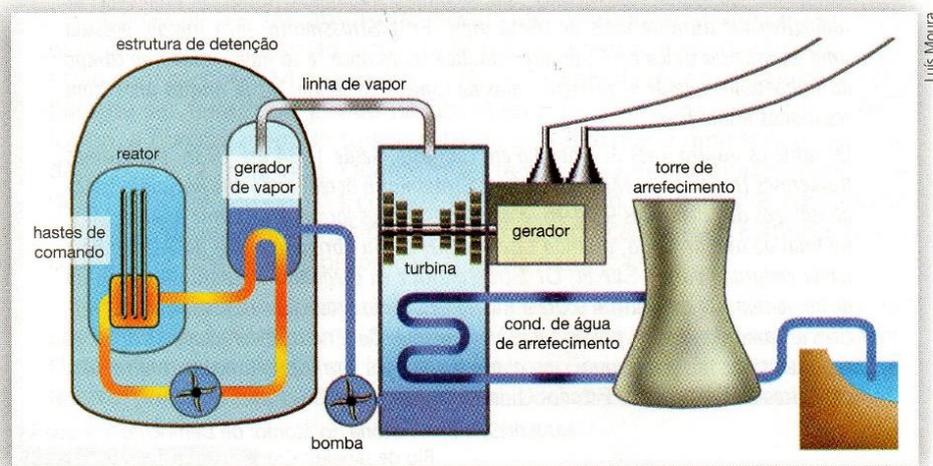


Representação do início de uma reação em cadeia da fissão do átomo de urânio-235.

Nesse tipo de usina nuclear, a reação de fissão urânio-235 pela reação com nêutrons rápidos é utilizada, de modo controlado, para gerar energia elétrica. Como a amostra de urânio-235 não contém apenas um átomo, como considerado na descrição da reação acima, ocorre o que chamamos **reação em cadeia**. A partir do momento em que um átomo se fissiona e libera mais nêutrons, estes reagem com outros átomos de urânio da amostra que também se fissionam. Quase instantaneamente uma grande quantidade de energia é gerada pela fissão nuclear.



Esquema do funcionamento de uma usina nuclear.



Luís Moura

Enquanto esse procedimento é incontrolável em uma bomba atômica, nas usinas há maneiras de controlar o número de fissões por segundo pela inserção de hastes de comando feitas de cádmio e boro, materiais que absorvem nêutrons. A estrutura de detenção, em geral construída de espessas paredes de concreto e barras de chumbo, é construída para impedir que os nêutrons e a radiação produzida escapem.

O processo de fissão nuclear começa no reator e a energia liberada é utilizada para aquecer a água (tubulação em tom avermelhado), que é então conduzida ao gerador de vapor. Ao esquentar e ebulir a água, o vapor produzido a alta pressão é direcionado para a turbina, que entra em movimento. Acoplado a ela encontra-se um gerador que, ao ser acionado, produz energia elétrica. Podemos considerar as usinas nucleares semelhantes às usinas termelétricas, com exceção da fonte de energia primária, que nas usinas nucleares são reações nucleares e nas usinas termelétricas são reações químicas.

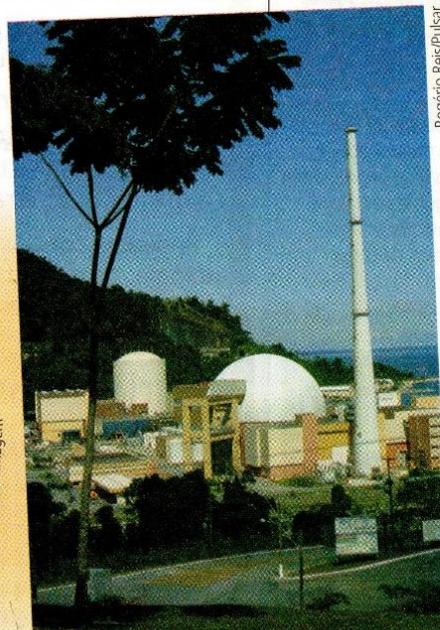
Atualmente, o Brasil tem duas usinas nucleares em funcionamento, Angra I e Angra II, no estado do Rio de Janeiro, que geram 657 MW e 1 350 MW de potência elétrica. Uma terceira usina, Angra III, que tem previsão de conclusão de obra para 2015, está prevista para gerar 1 405 MW. Com as três usinas em funcionamento, elas deverão gerar um total de energia de 26 milhões de MWh por ano, o equivalente para abastecer cerca de 58% do estado do Rio de Janeiro. A usina de Angra I entrou em funcionamento em 1985.



Turbina de Angra II, RJ, 2001.



Sala de controle, Angra II, RJ, 2007.



Usina nuclear de Angra dos Reis, RJ, 2006.

### O contexto tecnológico e social

No entre guerras do século XX, a polêmica com relação ao desenvolvimento das pesquisas na Física Nuclear foi muito grande, dividindo as pessoas em partidários e contrários a esse investimento. Argumentos não faltaram aos dois lados. As pessoas a favor dessas pesquisas justificavam seu ponto de vista apontando a crescente demanda de energia e a abundante fonte obtida nas reações nucleares. Consideravam também o custo inferior na produção de energia em relação às outras usinas. Os argumentos contrários, por sua vez, abordavam o risco de vazamento e contaminação, a questão do lixo nuclear e a possibilidade do uso da tecnologia para fins militares.

Se a discussão ficasse apenas em torno da produção de energia elétrica por meio da energia nuclear, ela não seria menos acalorada, mas certamente mais fácil. Teríamos a fonte perfeita de energia, pois com uma pequena porção de átomos de urânio obte-

riamos quantidades enormes de energia, sem o alagamento de grandes áreas, para a construção das hidrelétricas, ou a poluição da queima dos combustíveis fósseis.

O grande problema na utilização das reações de fissão nuclear para a produção de energia está na maneira como ela se disponibiliza, na forma de nêutrons extremamente velozes e radiações nocivas aos seres vivos. Essa radiação em contato com organismos podem danificar as células e causar diversos tipos de problemas. Mesmo quando não matam os órgãos diretamente, deixam sequelas no sistema de reprodução das células (DNA) que com o tempo podem levar à morte.

Do ponto de vista técnico, outro problema com o uso da energia nuclear é o processo de enriquecimento do urânio, pois se usa o  $^{235}\text{U}$ , não encontrado na natureza em grandes quantidades. Além disso, o material radioativo que sobra no processo deve ser cuidadosamente armazenado, para evitar contaminação. Existem ainda riscos de acidentes com vazamento de material radioativo, que pode contaminar extensas áreas urbanas. Outro problema que deve ser considerado no funcionamento das usinas nucleares é que elas não podem ser "desligadas" a qualquer momento. Uma vez iniciada uma reação de fissão, é muito difícil extingui-la instantaneamente, com sua taxa de desintegração sendo diminuída gradativamente.

Por isso, a utilização das reações de fissão para a produção de energia com fins comerciais deve ser muito bem planejada.

No Brasil, há um exemplo negativo de descuido com material radioativo: em 1987 com o vazamento de uma fonte de cézio-137 em Goiânia, no estado de Goiás. Uma fonte radioativa desativada foi jogada num depósito de materiais, onde ocorreu a manipulação errada que causou a desastrosa contaminação.

Podemos concluir assim que, embora haja vantagens enormes no uso dessa tecnologia, os riscos também são grandes. É preciso pesar isso tudo antes de formar uma opinião a respeito desse assunto.

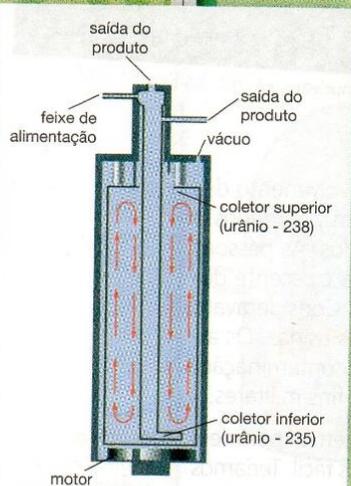
Editoria de arte



Esse é o símbolo da radioatividade. Quando impresso em alguma embalagem ou equipamento, temos de tomar cuidado com o seu manuseio.

## Por dentro do conceito

Luis Moura



## Enriquecimento do urânio

O minério de urânio encontrado nas formações rochosas é composto de cerca de 99,3% do isótopo  $^{238}\text{U}$ , que possui 92 prótons e 146 nêutrons. O que corresponde a 0,7% do isótopo  $^{235}\text{U}$  ( $Z = 92$ ,  $N = 143$ ), necessário nas usinas nucleares.

As etapas do enriquecimento de urânio consiste em aumentar a quantidade do isótopo do  $^{235}\text{U}$ , passando a ser de 2% a 5% do isótopo presente na amostra.

Essas etapas de enriquecimento utilizam centrífugas e devem-se ao fato de o isótopo  $^{235}\text{U}$  ser bem mais leve que o  $^{238}\text{U}$ , que tem maior massa. Sendo mais leve, o urânio-235 se difunde com maior velocidade e facilita o processo de centrifugação, onde ocorre a separação dos isótopos. Para isso, um gás (hexafluoreto de urânio,  $\text{UF}_6$ ) é injetado em alta velocidade na centrífuga; como as moléculas do isótopo mais leve se concentram na parte inferior dela, podem ser coletadas. O material coletado é prensado em pastilhas, que são o combustível nuclear enriquecido, e pode ser utilizado tanto nas usinas elétricas quanto na fabricação de bombas de fissão nuclear.

Esquema de uma centrífuga de enriquecimento isotópico.



**1)** (UFMG) Após ler uma série de reportagens sobre o acidente com césio-137 que aconteceu em Goiânia, em 1987, Tomás fez uma série de anotações sobre a emissão de radiação por césio:

- O césio-137 transforma-se em bário-137, emitindo uma radiação beta.
- O bário-137, assim produzido, está em um estado excitado e passa para um estado de menor energia, emitindo radiação gama.
- A meia-vida do césio-137 é de 30,2 anos e sua massa atômica é de 136,90707 u, em que u é a unidade de massa atômica ( $1u = 1,6605402 \cdot 10^{-27}$  kg).
- O bário-137 tem massa de 136,90581 u e a partícula beta, uma massa de repouso de 0,00055 u.

Com base nessas informações, faça o que se pede:

a) Tomás concluiu que, após 60,4 anos, todo o césio radioativo do acidente terá se transformado em bário. Essa conclusão é verdadeira ou falsa? Justifique sua resposta.

b) O produto final do decaimento do césio-137 é o bário-137. A energia liberada por átomo, nesse processo, é da ordem de  $10^6$  eV, ou seja,  $10^{-13}$  J. Explique a origem desta energia.

c) Responda. Nesse processo, que radiação – beta ou gama – tem maior velocidade? Justifique sua resposta.

a) A conclusão é falsa. A desintegração é exponencial com o tempo. Logo, após 60,4 anos, ainda temos  $\frac{1}{4}$  da massa original ainda como césio-137.

b) A massa total do produto do decaimento é:  $m_{Ba} + m_{\beta} = 136,90636$  u

A massa total do átomo original é:  $m_{Cs} = 136,90707$  u

A diferença de massa é convertida em energia na forma de radiação  $\gamma$ , de acordo com a equação de Einstein,  $\Delta E = \Delta mc^2$ .

c) A radiação  $\gamma$ , pois ela consiste em uma radiação eletromagnética que se propaga à velocidade da luz. A radiação  $\beta$ , por ser matéria, não pode alcançar essa velocidade.

**2)** (Fuvest-SP) O ano de 2005 foi declarado o Ano Internacional da Física, em comemoração aos 100 anos da Teoria da Relatividade, cujos resultados incluem a famosa relação  $E = \Delta mc^2$ . Num reator nuclear, a energia provém da fissão do urânio. Cada núcleo de urânio, ao sofrer fissão, divide-se em núcleos mais leves, e uma pequena parte,  $\Delta m$ , de sua massa inicial transforma-se em energia. A Usina de Angra II tem uma potência elétrica de cerca 1 350 MW, que é obtida a partir da fissão de Urânio-235. Para produzir tal potência, devem ser gerados 4 000 MW na forma de calor Q. Em relação à Usina de Angra II, estime a

NOTE E ADOTE:

Em um dia, há cerca de  $9 \cdot 10^4$  s  
 $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$   
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

a) quantidade de calor Q, em joules, produzida em um dia.

b) quantidade de massa  $\Delta m$  que se transforma em energia na forma de calor, a cada dia.

c) massa  $M_U$  de Urânio-235, em kg, que sofre fissão em um dia, supondo que a massa  $\Delta m$ , que se transforma em energia, seja aproximadamente 0,0008 ( $8 \cdot 10^{-4}$ ) da massa  $M_U$ .

$$a) P_{ot} = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = P_{ot} \Delta t \Rightarrow Q = 4000 \cdot 10^6 \cdot 9 \cdot 10^4 = 3,6 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

$$b) \Delta E = \Delta mc^2 \Rightarrow 3,6 \cdot 10^{14} = \Delta m \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow \Delta m = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$c) \Delta m = 0,0008 M_U \Rightarrow M_U = \frac{\Delta m}{0,0008} = \frac{4,0 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-4}} = 5 \text{ kg}$$

- 2- KAZUHIITO, Y. FUKU, L. F. Física para o Ensino Médio, volume 3. 1ªed. São Paulo: Saraiva, 2010.

19
FÍSICA NUCLEAR

Existe sentido em julgar uma pesquisa como “boa” ou “ruim”? Parece que não: a ciência não deve ser passível de juízo de valor. O modo como é aplicado o conhecimento científico depende dos seres humanos. À ciência cabe sempre — e apenas — ampliar a compreensão sobre o Universo onde vivemos. É com essa reflexão que começamos o estudo da Física Nuclear.

Certamente você conhece muitas atividades envolvidas com a radioatividade, das aplicações médicas às militares, dos reatores à agricultura. Com tantas e tão amplas aplicações, a resposta a perguntas como “Vale a pena apostar na Física Nuclear?”, “Os reatores nucleares têm mais vantagens ou desvantagens?”, “A energia nuclear é perigosa?” não têm respostas fáceis. Neste capítulo, vamos entender o que é a radioatividade, quais os processos radioativos mais importantes, com que tipo de partículas e qual a ordem de grandeza das energias com que estamos lidando. O conhecimento é a principal ferramenta para formularmos opiniões abalizadas, afastarmos preconceitos e exercermos a cidadania.



Desde 1945, quando os Estados Unidos conduziram o primeiro teste de detonação de um artefato nuclear, já se contabilizam mais de 2.000 explosões envolvendo reações nucleares, entre testes e detonações com fins bélicos, levadas a cabo por países americanos, europeus e asiáticos.

### O átomo, até a década de 1950

Na Antiguidade, os átomos eram considerados indivisíveis. A ideia de que podia haver partes do átomo é recente na história da ciência: como você já sabe, apenas no início do século XX identificaram-se o núcleo e a eletrosfera. Nessa época, os físicos já sabiam da existência dos prótons e dos elétrons, e também sabiam que a luz, como outras formas de energia, não era emitida de forma contínua, mas em forma de pacotes de energia denominados *quanta*, ou fótons.

Antes de John Dalton, em 1808, não havia qualquer relação da ideia de átomo com os conceitos da Química: já havia uma sistematização de materiais e propriedades sem necessidade de recorrer a modelos atomistas. Depois de Dalton e da proposição das leis ponderais e volumétricas, foi possível relacionar as características e propriedades das substâncias com os diversos tipos de átomos que as compunham. Essas propriedades foram sistematizadas na Tabela Periódica, uma das maiores realizações da Química. A organização da Tabela se baseou inicialmente na massa relativa dos átomos, evoluindo depois para os números atômicos. Vamos falar um pouco sobre esses valores.

Cada elemento químico se caracteriza por um número determinado de prótons, que é denominado número atômico; a soma de prótons e nêutrons, que são as partículas do núcleo (núcleons) é o número de massa. A unidade de massa atômica ( $u$ ) é definida como  $\frac{1}{12}$  da massa do átomo de carbono-12 e vale, aproximadamente,  $1,6605 \cdot 10^{-27}$  kg. Esse é o padrão para se medir massas de átomos e moléculas.

### NÚCLEO PESADO, ELETROSFERA LEVE

- A massa de repouso de um elétron é de aproximadamente  $9,11 \cdot 10^{-31}$  kg, ou seja, mais de mil e oitocentas vezes menor que a massa de repouso de um próton, que vale  $\approx 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg, ou  $\approx 1,0073$  u.
- A massa de um nêutron, por sua vez, é aproximadamente 0,14% maior que a do próton, ou seja,  $\approx 1,0087$  u.

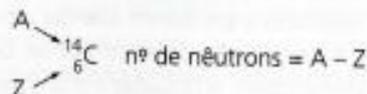
Note, portanto, que praticamente toda a massa do átomo concentra-se no seu núcleo. Esses valores foram dados em quilogramas ou u, mas no domínio das partículas subatômicas o mais adequado é pensar na massa no contexto da relação massa energia,  $E = mc^2$ . No caso do elétron, por exemplo, a sua massa em  $\text{MeV}/c^2$  é 0,511.

Pergunte aos seus alunos se esses dados são suficientes para se calcular a massa atômica do elemento químico carbono (a resposta é sim, e o valor da massa com esses dados é 12,011037 u).

Para caracterizar um átomo são necessários seu número atômico ( $Z$ ), que especifica o número de prótons e representa univocamente o elemento químico, e o número de massa ( $A$ ), que especifica o número de partículas do núcleo, ou núcleons (prótons e nêutrons). Esses dois números e o símbolo químico do elemento compõem a sua representação padrão:

${}^A_Z$  SÍMBOLO

Há átomos de mesmo elemento químico e de números de massa distintos, e tais átomos são chamados de isótopos. Por exemplo,  ${}^{14}\text{C}$  é a denominação de um isótopo do carbono de número de massa 14:



O  ${}^{14}_6\text{C}$  tem 6 prótons ( $Z = 6$ ) e  $14 - 6 = 8$  nêutrons, dois a mais que a maioria dos átomos de carbono da natureza, que têm 6 nêutrons. A massa atômica do elemento é calculada pela média ponderada das massas dos isótopos de mesmo número atômico. Assim, o carbono tem sete isótopos, sendo que os três mais estáveis são o  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{13}\text{C}$  e  ${}^{14}\text{C}$ . Veja na tabela.

CARACTERÍSTICAS DOS ISÓTOPOS MAIS COMUNS DO CARBONO

Isótopo	Massa atômica ( $u$ )	Abundância relativa (%)	Atividade radioativa
${}^{12}\text{C}$	12,000000	98,9	estável
${}^{13}\text{C}$	13,003355	1,1	estável
${}^{14}\text{C}$	14,003242	menos que 0,01	radioativo

Fontes: Instituto de Física da UFRJ. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~dore/FisRad/MA.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2010; Wikipédia. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Carbono>>. Acesso em: 28 jan. 2010.

## Outras partículas

Até 1932, prótons, elétrons e nêutrons eram as partículas denominadas *elementares* do átomo. Mas essa situação se alteraria, rápida e drasticamente.

Já em 1930, o físico alemão Wolfgang Pauli havia postulado a existência de uma partícula leve e sem carga, responsável pela conservação de energia em um processo nuclear chamado decaimento beta (que veremos a seguir). Anos mais tarde, essa partícula foi identificada com o neutrino do elétron.

Em 1932, no mesmo ano em que o nêutron foi identificado como uma partícula por James Chadwick (ganhador do prêmio Nobel em 1935 pela descoberta), outro cientista, Carl Anderson, conseguiu detectar uma partícula prevista teoricamente por Paul Dirac, que tinha a mesma massa do elétron, porém com carga positiva. Essa partícula recebeu o nome de pósitron ( $e^+$ ) ou antipartícula do elétron. Pósitrons são estáveis quando isolados; porém, na presença de elétrons, aniquilam-se mutuamente gerando dois fótons:



Sucessivamente, muitas outras partículas e antipartículas foram sendo descobertas e nomeadas, e já se conhecia o papel que cada uma desempenhava no eletromagnetismo ou nos princípios de conservação. Algumas eram de fato elementares, como o elétron e o neutrino; para outras, ainda teríamos de esperar mais alguns anos para identificar seus componentes. Até 1950, as partículas conhecidas eram as seguintes:

Assim como no caso do pósitron, as antipartículas se aniquilam quando encontram suas simétricas e produzem energia em forma de fótons.

E as descobertas não pararam por aí. De 1950 até os dias de hoje, já são 61 partículas elementares, arranjadas em um programa que pretende explicar a formação de matéria no Universo e a mediação de forças, denominado Modelo Padrão.

Nome	Símbolo	Carga elétrica	Natureza
elétron	$e^-$	-1	elementar
fóton*	$\gamma$	0	elementar
próton	$p^+$	+1	não elementar
neutrino	$\nu_e$	0	elementar
pósitron	$e^+$	+1	elementar
nêutron	$n$	0	não elementar
múon*	$\mu^+$	+1	elementar
múon*	$\mu^-$	-1	elementar
píon*	$\pi^+$	+1	não elementar
píon*	$\pi^-$	-1	não elementar
píon <sup>0</sup>	$\pi^0$	0	não elementar

\* O fóton não é uma partícula, no sentido que atribuímos às demais, uma vez que não apresenta carga ou massa.

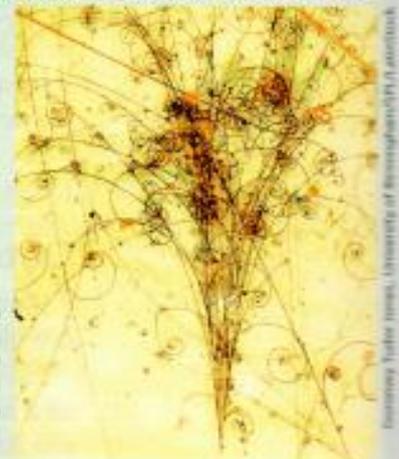
## DETECTORES DE PARTÍCULAS: A CÂMARA DE BOLHAS

De que modo partículas tão pequenas são detectadas? Em primeiro lugar, devemos recordar que partículas de carga elétrica interagem com campos elétricos e também com campos magnéticos. Particularmente, uma partícula de massa  $m$  carregada com carga elétrica de valor  $q$ , ao entrar com velocidade  $\vec{v}$  em uma região em que há um campo magnético caracterizado pelo vetor indução magnética  $\vec{B}$ , fazendo  $90^\circ$  com este, é forçada a realizar movimento circular de raio  $R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$ , com sentido dado pela regra da mão esquerda (veja o capítulo 14). Logo, se pudermos observar o comportamento dessas partículas em um campo magnético, podemos inferir algumas de suas características.

A câmara de bolhas tem em seu interior um vapor supersaturado (por exemplo, hidrogênio), rodeado por ímãs potentes que criam os campos magnéticos que vão confinar as partículas. Quando fazemos passar por esse vapor um feixe de partículas muito rápidas, estas criam um rastro de vapor ionizado, que traça a sua trajetória. É desse modo que comparamos massas e cargas de partículas energéticas após serem defletidas pelo campo magnético ou mesmo colidirem com outras partículas.

As câmaras de bolhas foram o método mais eficaz de detecção de partículas até os anos 1970. Hoje, as câmaras de bolhas foram substituídas por sistemas complexos de detectores como os do LHC (sigla em inglês para Grande Colisor de Hádrons), o acelerador gigante de partículas em que trabalham centenas de cientistas de vários países.

Nesta foto, você vê um chuva de partículas elétron-pósitron capturado em uma câmara de bolhas: são trajetórias de partículas que se movem de cima para baixo, mostrando múltiplos pares elétron-pósitron formados no decaimento de um fóton de alta energia, que por sua vez é produzido na colisão de neutrinos. Esse processo tem o nome de "criação de par". Cada par de espirais que se desenvolvem em sentidos opostos é um par elétron-pósitron. À medida que avançam, emitem fótons que também criam pares. O processo avança até que toda a energia do fóton inicial seja consumida.



## A radioatividade e os processos nucleares

Em 1896, o físico francês Henri Becquerel percebeu que minérios contendo o elemento químico urânio, descoberto no final do século XVIII, emitiam um tipo de radiação, escurecendo chapas fotográficas não veladas. Percebendo que o fenômeno se devia exclusivamente ao urânio, o próximo passo dos pesquisadores para avançar na investigação era purificar o minério.

Durante o processo de purificação do urânio, o casal Pierre e Marie Curie identificou outros elementos, que apresentavam as mesmas propriedades mas com muito maior intensidade. Esse fenômeno foi chamado de radioatividade, e os dois novos elementos químicos foram chamados de polônio — uma homenagem à Polônia, terra natal de Marie —, e rádio.

Em que consistia essa propriedade? Ernest Rutherford mostrou, em 1919, que as radiações provinham dos núcleos dos átomos, e não guardavam qualquer relação com a eletrosfera. Mas, sendo o núcleo a região que guarda a identidade dos átomos, a emissão dessas partículas deveria implicar alterações nos elementos químicos.

**Radioatividade:** propriedade dos núcleos atômicos instáveis de emitirem espontaneamente partículas e radiações eletromagnéticas, transformando-se em outros núcleos mais estáveis. Essas reações espontâneas são conhecidas como desintegrações radioativas, decaimentos ou transmutações.

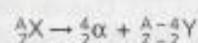
### Emissões alfa ( $\alpha$ )

Em 1911, Rutherford usou uma amostra do recém-descoberto polônio para bombardear a folha fina de ouro; após um determinado tempo, parte da amostra de polônio se transformava em chumbo. Em parceria com Frederick Soddy, Rutherford desvendou a natureza dessas radiações, que na verdade eram partículas do núcleo compostas de 2 prótons e 2 elétrons. O núcleo do hélio  ${}^4_2\text{He}$  é chamado de partícula  $\alpha$ , pois também é formado por 2 prótons e 2 nêutrons.

$$2p + 2n = \alpha$$

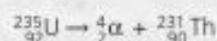
A velocidade com que partículas  $\alpha$  são emitidas está entre  $3 \cdot 10^3$  e  $3 \cdot 10^4$  km/s. Tem grande poder de ionização mas o seu poder de penetração na matéria é pequeno: no ar, por exemplo, é de apenas 8 cm.

Em uma emissão de partículas  $\alpha$ , um átomo tem seu número atômico reduzido em 2 unidades:



Expressão geral do decaimento alfa

Esta é a forma geral de uma equação nuclear. Perceba que esta notação revela que as cargas e as massas são preservadas. Veja o exemplo do decaimento alfa para o urânio-235:

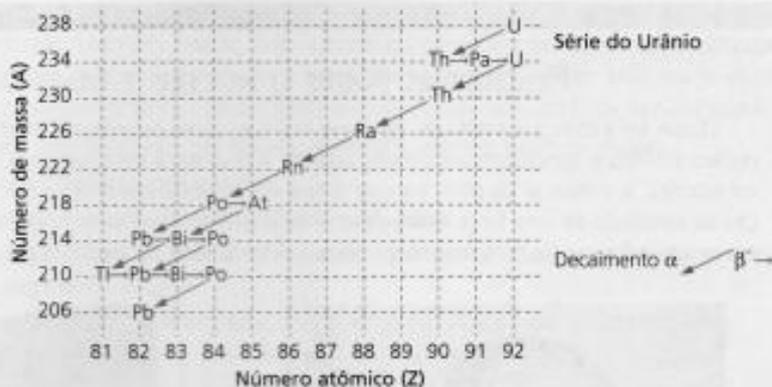
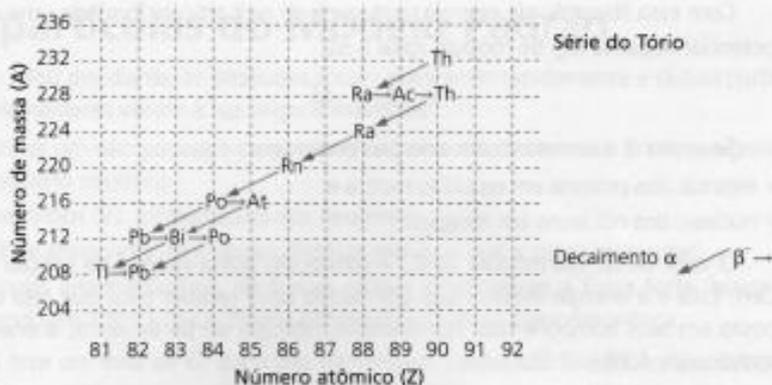


Um isótopo que sofre um decaimento alfa transforma-se em outro elemento de número atômico diminuído de 2 e número de massa diminuído de 4. Dos dois lados da equação, vemos 92 cargas positivas e 235 núcleons.



Calibração de um equipamento de radioterapia, para determinação da dosimetria (taxa de radiações) em uma exposição.

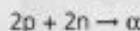




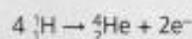
As bombas atômicas são bombas de fissão. A enorme quantidade de energia liberada nas explosões deve-se à transformação de energia potencial dos núcleons em energia cinética dos fragmentos e em fótons. A energia cinética é devida à forte repulsão entre os núcleos de bário e criptônio, que partem com altas velocidades após a quebra do  $^{235}_{92}\text{U}^*$ .

## A fusão nuclear

Observe a formação do núcleo do hélio  $^4_2\text{He}$ :



Essa equação representa um processo nuclear, pois duas ou mais partículas se unem para formar uma partícula maior. É o que ocorre no interior das estrelas, na maior parte de suas vidas, por exemplo, onde quatro átomos de hidrogênio se fundem para formar um átomo de hélio.



Nas fusões nucleares, verifica-se que a massa do produto ( $m_p$ ) é menor que a soma das massas ( $m_r$ ) das partículas que reagem. Nas reações termonucleares em que  $H$  se transforma em  $He$ , há uma "perda" de 0,7% de massa no produto em relação ao estado inicial, e é exatamente a diferença ( $\Delta m = m_p - m_r$ ) que representa energia liberada ( $\Delta E$ ) no processo:  $\Delta E = |\Delta m| \cdot c^2$

Com essa liberação de energia, armazena-se na partícula formada uma energia potencial negativa ( $E_p$ ) de módulo igual a  $\Delta E$ :

$$E_p = -\Delta E$$

Seu valor é o somatório das energias potenciais:

- o elétrica: dos prótons em repulsão mútua e
- o nuclear: dos núcleons em atração.

O valor de  $\Delta E$  (ou módulo de  $E_p$ ) é conhecido como energia de ligação do núcleo. Esta é a energia mínima que um núcleo deve receber para que seja decomposto em seus componentes. Por exemplo, no caso de partículas  $\alpha$ , a energia de ligação vale  $4,38 \cdot 10^{-12}$  J.

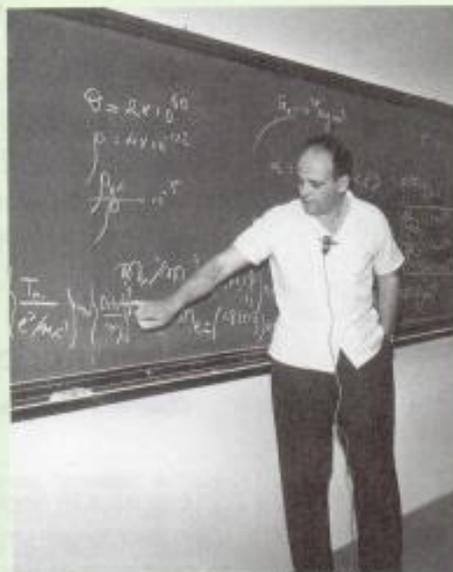
## PERGUNTAS SOBRE O NÚCLEO E DUAS DESCOBERTAS

O que faria com que partículas de carga positiva, como os prótons, dividam um espaço tão pequeno como o núcleo atômico e constituam um sistema estável? A resposta a essa pergunta levou à descoberta de outra partícula subatômica, o méson pi ou pión, na qual esteve diretamente envolvido o físico brasileiro Cesar Lattes e à proposição da existência de uma força atrativa muito forte que agiria entre os núcleons, em distâncias de até  $10^{-15}$  m, que é a ordem de grandeza do tamanho do núcleo. A força forte foi proposta por Hideki Yukawa.



Matt Evans Picture Library/Olomédia

Hideki Yukawa (1907-1981) foi um físico japonês. Agraciado com o Prêmio Nobel em 1949 pela previsão de uma partícula mediadora de forças entre prótons e nêutrons no núcleo e da força forte, análoga ao fóton que é a partícula mediadora da força eletromagnética. A força forte é uma das quatro forças fundamentais da natureza.



CNPq - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Cesare Mansueto Giulio Lattes (1924-2005), mais conhecido como Cesar Lattes, foi um físico brasileiro. Fez parte do primeiro grupo de brasileiros que trabalharam com físicos europeus como Cecil Powel, ganhador do Prêmio Nobel de 1950 pela descoberta do méson pi. Essa descoberta aconteceu doze anos depois da proposição de Yukawa, e Cesar Lattes teve participação crucial nesse episódio. Cofundador da Unicamp em 1966 e professor da UFRJ, foi o precursor da Física de partículas de alta energia no Brasil.

- 3- KANTOR, C. A. et al. Física, Coleção Quanta Física 3º ano: ensino médio. 1ªed. São Paulo: Editora PD, 2010.

### Energia nuclear

Para substituir o petróleo e evitar o recurso do carvão mineral, muito poluidor, em todo o mundo estão sendo analisadas a viabilidade e adequação de alternativas energéticas, dentre as quais tantas formas de usar a energia que já tiveram importante papel

histórico, como a energia dos ventos, ou outras, mais recentes, como o uso da energia nuclear.

Reconhecidas como tecnologia de alto risco, as usinas nucleares para produção de energia elétrica, utilizam materiais radiativos como fonte de energia. A energia proveniente de núcleos radiativos liberam calor

que é transferido para a água contida em uma caldeira. O vapor d'água a alta pressão faz girar a turbina acoplada ao gerador, tal qual em uma termelétrica a gás ou diesel. O material mais usado é o isótopo radioativo  $^{235}\text{U}$ ; por serem instáveis, os núcleos desses isótopo decaem, isto é, transformam-se em isótopos de outros elementos, em um processo em cadeia que emite grande quantidade de energia radiante na forma de calor, denominado fissão nuclear.

A fissão nuclear do  $^{235}\text{U}$  também pode ser provocada artificialmente pelo bombardeio de seus núcle-

os por nêutrons em baixa velocidade. Em um reator nuclear uma reação em cadeia controlada é, então, provocada com as partículas emitidas no processo de decaimento natural de uma parte dos átomos de  $^{235}\text{U}$  sendo utilizadas para bombardear com nêutrons outros átomos e assim por diante. O resultado disso é a liberação de uma quantidade de energia muito superior àquela conseguida pela queima de quantidades equivalentes de carvão ou petróleo, e sem liberação de gases que poluam a atmosfera.

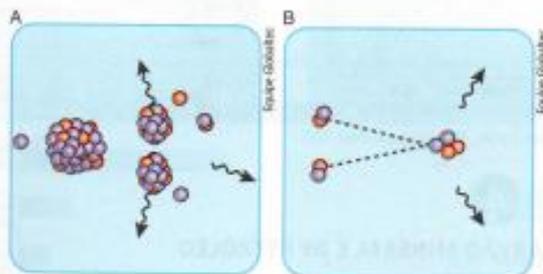


## CONEXÃO

### A BOMBA DE FISSÃO NUCLEAR

A bomba de fissão nuclear, conhecida como bomba atômica ou bomba A, baseia-se na liberação de energia que resulta de um processo em que núcleos de  $^{235}\text{U}$  se fragmentam em elementos menores, emitindo também alguns nêutrons que, interagindo com outros núcleos de urânio, fazem com que estes também se partam e emitam nêutrons e assim por diante, na chamada reação em cadeia. Os reatores nucleares de fissão usam princípio análogo ao da bomba A, ainda que a porcentagem de urânio fissil nas pastilhas nucleares de usinas sejam bem menores que no caso das bombas (se necessário, volte ao Capítulo 3 da Unidade 1, página 52).

Bombas e reatores de fissão têm em comum a grande quantidade de radiação envolvida.



A. Na fissão nuclear, núcleos de urânio, ao serem bombardeados por nêutrons, partem-se, liberando radiações. B. Na fusão nuclear, a liberação de energia ocorre por meio da síntese de núcleos maiores a partir de núcleos menores.

A radiação produzida das desintegrações atômicas, que ocorrem dentro de um reator nuclear, é altamente nociva à vida, sendo também causadora de mutações genéticas. Nas usinas nucleares em funcionamento, uma das principais preocupações é o isolamento do material radiativo. Há sempre o perigo de que, além de pequenos vazamentos ocasionais e controláveis, ocorram acidentes com grandes vazamentos de radiação, como o que ocorreu na usina nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, em abril de 1986.



Símbolo de perigo de radiação nuclear

Um problema igualmente difícil de resolver é o destino do lixo atômico produzido por essa forma de geração de energia elétrica. O que fazer com ele? Uma

vez utilizado, o  $^{235}\text{U}$  transforma-se em outros isótopos também radiativos, que podem levar milhares de anos até se transformarem em isótopos mais estáveis e menos ofensivos à vida. Além disso, tudo o que entra em contato com a radiação – roupas especiais utilizadas pelos trabalhadores, peças de reposição, ferramentas e o próprio reator em caso de desativação – necessita de longo período de isolamento.

O outro tipo de energia nuclear, de mesma natureza da energia que faz as estrelas brilharem durante bilhões de anos, é a fusão nuclear: a liberação de energia decorrente da junção de núcleos leves, como os de hidrogênio ( $^1\text{H}$ ) ou de um de seus isótopos mais pesados, o deutério ( $^2\text{D}$ ) ou o trítio ( $^3\text{T}$ ), formando núcleos maiores como os de hélio ( $^4\text{He}$ ). Essa síntese foi produzida pela primeira vez em nosso planeta quando se criou a primeira bomba H. O sonho de obter um processo de fusão contínua e controlada em reatores de fusão nuclear para produção de energia elétrica vem sendo buscado há meio século, e tem se mostrando de difícil realização. As pesquisas continuam, mas sem expectativas precisas de prazo para sucesso.



Explosão de XX33 Romeo, bomba de hidrogênio com poder de 11 megatons, detonada em 26 de março de 1954, no Atol de Bikini, no Oceano Pacífico. Em uma bomba de hidrogênio ocorre fusão dos núcleos de hidrogênio produzida pelo calor criado por uma bomba atômica.

### Fontes alternativas de energia

Outras alternativas de aproveitamento de energia, de menor risco ou de maior viabilidade que reações nucleares, usando fontes renováveis de energia, têm se tornado cada vez mais presentes com o avanço tecnológico.

A radiação solar fornece grande quantidade de energia que, em regiões tropicais, ao meio-dia, excede  $1 \text{ kW/m}^2$ . Os desertos estendidos pelo mundo cobrem uma área de aproximadamente 20 milhões de  $\text{km}^2$ , em que não há vegetação ou população, com uma radiação solar anual total em suas áreas cerca de 400 vezes maior do que todo o consumo energético mundial. No entanto, a incidência da radiação solar é muito dispersa, o que dificulta sua coleta, e cara, sendo hoje não competitiva com outras fontes de produção energética elétrica em larga escala. O que está em crescimento é seu uso de forma localizada, em residências, indústrias e equipamentos individuais de pequeno porte.



Placa fotovoltaica acoplada a equipamento eletrônico de controle de estacionamento em via pública em Houston, no Texas, EUA.



Painéis solares e turbina eólica: fontes alternativas de energia (Centro de Estudos Regenerativos, da Universidade Estadual Politécnica da Califórnia, em Pomona – EUA).

Há muitas formas alternativas de obtenção de energia em desenvolvimento hoje: coletores de vento reunidos em fazendas eólicas e usinas elétricas utilizando como fontes de energia pequenos cursos hídricos ou rejeitos térmicos industriais ou agrícolas; têm-se desenvolvido também a tecnologia para o aproveitamento da energia das marés ou de fontes geotérmicas. No entanto, em todas essas alternativas, o equacionamento entre custo, benefício e reflexos no meio ambiente tem sido difícil; isso porque os processos naturais de onde extraímos energia, apesar de poderem estar a nosso alcance,

têm alto custo nos investimentos iniciais, além de um custo não desprezível para o meio ambiente. Logo, não basta avançar tecnologicamente nessa área de aproveitamento de fontes alternativas de energia, é preciso desenvolver uma nova cultura de relacionamento com o ambiente, em que os custos futuros pesem tanto quanto as vantagens do presente. Isso inclui mudanças, tanto na demanda quanto na oferta de energia, dependendo essencialmente dos valores humanos que embasam a educação, as formas de produção de bens e o oferecimento de serviços.



### CONEXÃO

#### FAZENDAS EÓLICAS

A geração de energia elétrica a partir da energia eólica tem aumentado mundialmente.

Em 2006, nos EUA, 19 milhões de casas já eram abastecidas por eletricidade advinda das fazendas eólicas. Na Alemanha, atualmente o país com maior capacidade eólica, 31 milhões. No Brasil, é a região Nordeste que apresenta maior potencial eólico.



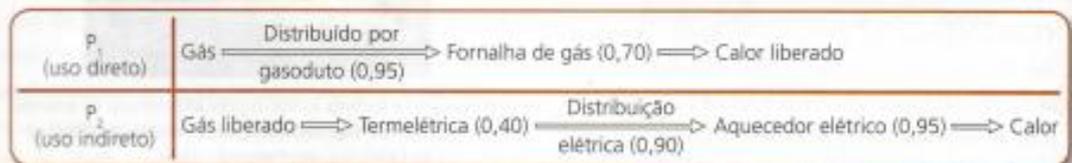
Geração de energia eólica em Parnaíba (PI, 2009).



### Sua parte 2

1. (ENEM – adaptada) Na comparação entre diferentes processos de geração de energia elétrica, devem ser considerados aspectos econômicos, sociais e ambientais. Um fator economicamente relevante nessa comparação é a eficiência do processo. Eis um exemplo: gás natural pode ter uso direto como fonte de aquecimento, pela

queima em um fogão; e pode ter uso indireto, em uma termelétrica, também pela queima, para aquecer água e produzir vapor que, movendo as turbinas, transforma energia mecânica em energia elétrica. O rendimento correspondente a cada etapa desses dois processos está indicado no esquema entre parênteses.



Anexo II – Trechos extraídos das Divulgações Científicas

- 1- NOGUEIRA, P. Qual o futuro da bomba? Revista Galileu, São Paulo/SP: Editora Globo, nº169, p.30-41, agosto 2005.

**História**

# Qual o futuro da BOMBA?

O 60º ANIVERSÁRIO DOS BOMBARDEIOS NO JAPÃO

PABLO NOGUEIRA [pdliago@edglobo.com.br](mailto:pdliago@edglobo.com.br)

**A**gora eu me tornei a morte, a destruidora de mundos." Com essa citação literária, o físico americano Robert Oppenheimer saudou o cogumelo de fogo que brilhou às 5h30 da manhã no deserto no Novo México, no dia 16 de julho de 1945. A explosão assinalava o sucesso da missão que consumira todos os momentos da vida do físico durante três anos: a produção da primeira bomba atômica.

Mas a frase sinistra, pinçada do livro religioso hindu "Bhagavad Gita", denunciava a mistura de sentimentos entre os participantes do projeto Manhattan, o programa de armas atômicas que o governo norte-americano desenvolveu durante a Segunda Guerra. O objetivo do projeto, que custou US\$ 20 bilhões e mobilizou 140 mil pessoas, era criar um artefato tão destrutivo que fosse capaz de encerrar o conflito. Em 6 e 9 agosto

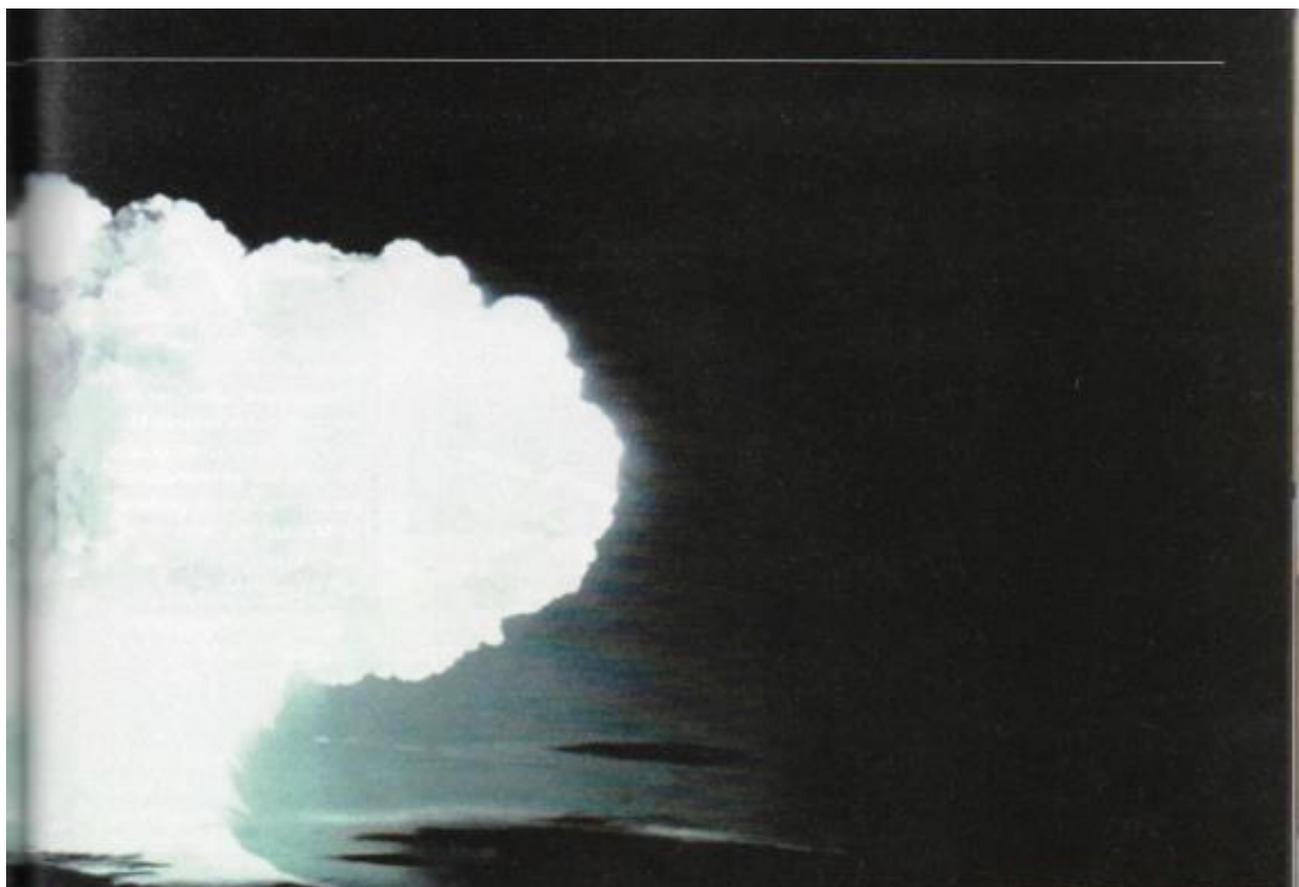
de 1945, os dois protótipos construídos foram jogados sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki. O número de vítimas chegou perto dos 140 mil, o governo japonês foi forçado a solicitar um armistício e a Segunda Guerra Mundial realmente chegou ao fim.

As duas explosões assinalaram também um começo, o da era dos arsenais atômicos. Em 1949, para contrapor-se ao poderio americano, a URSS realizou seu primeiro teste nuclear, e deu início à Guerra Fria. A partir de 1991, com o fim da URSS, Rússia e EUA deram início a um processo de aproximação diplomática, e a confrontação ficou para trás. Mas as armas atômicas ficaram. Hoje somam perto de 30 mil, sendo que 97% pertencem a russos e americanos.

Seis décadas após o bombardeio de Hiroshima, perguntar pelo futuro dos arsenais nucleares traz respostas bem incômodas. "A maior parte

30 Galileu • Agosto 2005

PHOTO: ANDRÉ KASPER



## LEVA ESTUDIOSOS A REFLETIR SOBRE A ARMA

das pessoas não se dá conta, mas hoje o mundo vive um momento crucial no que tange às armas atômicas", diz Graham Allison, diretor de um centro de pesquisas de relações internacionais em Harvard. No cerne do problema estão as dificuldades por que passa o tratado internacional de não-proliferação de armas nucleares. "O cenário que parece mais provável é um mundo onde o número de países detentores de armas atômicas cresce rapidamente." Robert Einhorn, autor do livro "The Nuclear Tipping Point" (algo como "o ponto de mudança nuclear") faz uma previsão parecida: "Vejo duas alternativas quanto à posse de armas atômicas em nosso planeta para daqui a 60 anos. Ou o número de estados atômicos será bem menor, e terão menos armas, ou será bem maior, e terão muito mais armas".

Paradoxalmente, na origem da tecnologia atômica está um dos períodos mais cooperativos e

internacionalistas da história da ciência: a pesquisa sobre a estrutura da matéria no começo do século 20. A descoberta do nêutron, em 1932, multiplicou os estudos e de certa forma acelerou o ritmo dos acontecimentos. Mas já em 1914 o escritor inglês H.G. Wells antevia em seu "O Mundo Libertado" uma Europa dotada tanto de fábricas movidas a energia atômica quanto de bombas poderosas que utilizariam o mesmo princípio, e que seriam usadas numa guerra devastadora por volta de 1956. Para os físicos era claro que a energia atômica desempenharia um papel importante no destino da humanidade a médio prazo. A década de 1950, estipulada por Wells, parecia um prazo razoável para que se dominassem todos os segredos da área. Mas o encontro da física de ponta com o moderno aparato militar, propiciado pela Segunda Guerra Mundial, mudaria a história para sempre.

# História

PASSADO

MEIO DOS ALEMÃES FOI ESTÍMULO PARA PESQUISA AMERICANA



**A PLENO VAPOR**  
Construção de planta em Oak Ridge em junho de 1943

Nas primeiras décadas do século 20, os estudiosos da estrutura da matéria formavam uma comunidade internacional bastante unida: compartilhavam os resultados de suas descobertas e visitavam os laboratórios localizados na Alemanha, Inglaterra, França, EUA, Itália e Dinamarca para aprender uns com os outros e fazer experimentos.

Tamanho cosmopolitismo destoava muito do sectarismo e do senso de rivalidade que

permeava a Europa após a Primeira Guerra Mundial, e tal diferença era motivo de orgulho para a comunidade científica. Ao mesmo tempo, a colaboração internacional impedia que o conhecimento se tornasse propriedade exclusiva de um só país, o que também era visto como algo positivo.

### Uma carta faz história

O vínculo supranacional que unia os estudiosos foi testado pela expansão do nazifascismo na Europa. Por serem de origem judia ou defenderem posições políticas consideradas subversivas, grandes nomes da ciência, especialmente alemães, se viram compelidos a mudar de país. A solidariedade de seus colegas ajudou-os a encontrar empregos em países estrangeiros e começar vida nova.

## Edward Teller



Auxiliou Oppenheimer a criar Los Alamos, mas se ressentiu por não obter um alto posto. No projeto Manhattan dirigiu um grupo de estudos preparatórios para a muito mais poderosa bomba de hidrogênio, programa que chefiou após a guerra.

Para os Estados Unidos seguiram na década de 1930 os alemães Albert Einstein e Hans Bethe, o italiano Enrico Fermi, os húngaros Leo Szilard, Eugene Wigner, John von Neumann e Edward Teller. Todos tinham seus nomes ligados à história do projeto Manhattan e, à exceção de Einstein, serão importantes na construção da bomba.

Porém, grandes cientistas permaneceram na Alemanha. Lá, em fins de 1938, Otto Hahn e Fritz Strassman, com a contribuição da exilada Lise Meitner, descobrem a fissão do átomo de urânio, processo capaz de liberar grandes quantidades de energia. A descoberta é tão significativa que rapidamente extrapola os limites dos la-

## J. Robert Oppenheimer

Diretor científico do projeto Manhattan. Sua liderança superou os problemas que surgiram entre os grandes egos dos envolvidos e os atritos que brotaram da difícil convivência entre cientistas e militares. Depois da guerra, se opôs ao desenvolvimento da bomba de hidrogênio.



A CORRIDA COMEÇA

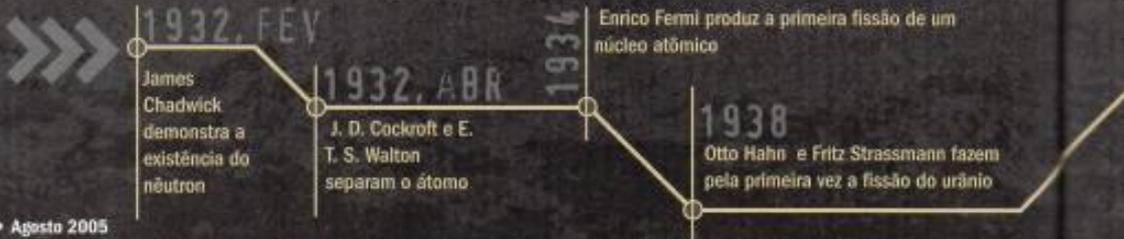


Foto: J. Robert Oppenheimer - O. G. / J. Robert Oppenheimer

Projeto Manhattan

O programa mobilizou centenas de milhares de pessoas em dez Estados. Veja a função de cada um no processo de criação da bomba:



- 1 Washington
- 2 Novo-México
- 3 Iowa
- 4 Missouri
- 5 Ohio
- 6 Tennessee
- 7 Filadélfia
- 8 Nova York
- 9 Massachusetts
- 10 Nova Jersey

»»» Enrico Fermi

Grande físico teórico e experimental, prêmio Nobel de 1939. Em 1942 construiu a primeira pilha atômica, mostrando a possibilidade de se realizar uma reação em cadeia de forma controlada. Em Los Alamos, foi diretor associado do laboratório e comandou um grupo de pesquisa.



»»» Hans Bethe

Alemão de origem, prodígio em matemática e físico brilhante, era o diretor da divisão teórica de Los Alamos. Sob sua chefia estavam vários grupos de pesquisadores trabalhando paralelamente para solucionar todos os problemas envolvendo a ciência da produção da bomba. Nobel de 1963.



boratórios. Em abril de 1939 os físicos Paul Harteck e Wilhelm Groth escrevem uma carta ao ministério da Guerra nazista alertando para a possibilidade de se produzir explosivos nucleares. No mesmo mês a Alemanha começa a estudar secretamente os possíveis usos da energia atômica. Em setembro Werner Heisenberg, um dos mais brilhantes físicos do mundo, é convocado para dirigir o programa atômico do país, tarefa a qual se dedicará sem maiores consequências até a derrota da Alemanha.

No início de 1939 o físico dinamarquês Niels Bohr chega aos EUA para uma visita, e traz em primeira mão a notícia da descoberta de Hahn e Strassman. Entre os pesquisadores exilados, a magnitude da descoberta que acabara de se realizar em pleno solo nazista causa impacto. Szilard se recordava que "na mesma hora em que soube da descoberta, percebi que seria possível realizar uma reação em cadeia a partir da fissão. De repente, todas as previsões de Wells me pareceram reais". Szilard e Wigner decidem agir, e alertar

1939, ABRIL: Inspirada pela descoberta da fissão do urânio, a Alemanha começa a articular um programa de pesquisa nuclear

AGOSTO: Einstein assina uma carta a Roosevelt sobre a urgência de pesquisar reações em cadeia

OUTUBRO: Roosevelt cria um comitê para estudar a fissão do urânio

1940, MARÇO: John Dunning pesquisa a fissão do isótopo U-235 do urânio, ideal para reações em cadeia

# História

PASSADO

UMA ÚNICA INSTALAÇÃO CUSTOU EQUIVALENTE A US\$ 5 BILHÕES

o governo americano para a possibilidade de uso militar da nova descoberta. Escrevem uma carta de alerta e pedem a Einstein que a assine, como forma de garantir impacto ao documento. Einstein concorda. Mais tarde declarará que "se eu soubesse que a Alemanha não teria sucesso na construção da bomba, não teria levantado um dedo". A carta chega ao presidente americano Franklin Roosevelt, que em outubro ordena a criação de um comitê para estudar "as possibilidades do urânio".

O programa nuclear americano passou por várias fases (veja linha do tempo) até concluir pela real possibilidade de se construir uma arma atômica no final de 1941. Mas somente quando passou para o controle do exército, na metade do ano seguinte, é que o projeto deslançou. Para en-

ganar possíveis espões nazistas, a iniciativa ganhou o nome vago de "Distrito de Engenharia de Manhattan", e logo seia chamada simplesmente de projeto Manhattan.

### Uma cidade

Para comandá-lo foi nomeado Leslie Groves, um general oriundo do corpo de engenheiros e que havia supervisionado a construção do Pentágono. Groves assumiu uma tarefa extremamente complexa, que envolvia desde obter e armazenar o urânio até a construção, em tempo recorde, do parque industrial necessário para processá-lo. O primeiro ato de Groves é criar o centro de Oak Ridge, no Tennessee, para processar urânio. Depois construirá o de Hanford, em Washington (veja arte na página anterior).

Em Hanford foram construídos, entre 1943 e 1945, os reatores, plantas de separação química e

## Leslie Groves



General do exército, Groves assumiu o projeto Manhattan em 1942 e o conduziu com mão de ferro. Sua obsessão por segurança gerou conflitos com os cientistas, que achava desligados e infantis. Mas até os militares reclamavam do seu estilo rolo compressor.

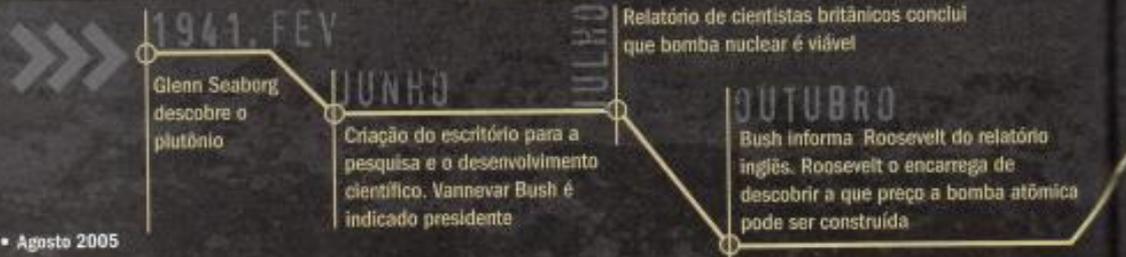
demais instalações destinadas a produção de plutônio. Por lá passaram 137 mil pessoas, entre trabalhadores e seus familiares todos vivendo em trailers. A infra-estrutura para os trabalhadores incluía bancos, hospitais, escolas, cinemas e locais para a prática de esporte. Em Oak Ridge foram criadas as instalações necessárias para obter o urânio U-235 imprescindível para a realização dos estudos e a produção da bomba. Só o fun-



**PROTÓTIPO**  
A primeira bomba atômica, testada no Novo México em 1945



NASCE O MANHATTAN



Por dentro do monstro

As bombas eram acionadas por mecanismos diferentes. Veja abaixo:

LITTLE BOY



A detonação do explosivo une as duas massas de urânio, que formam uma massa supercrítica, e a reação em cadeia se origina

FAT MAN



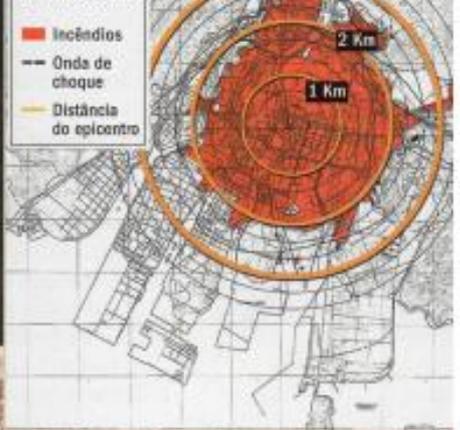
Uma esfera de plutônio fica no centro de uma esfera vazia cercada por explosivos. 32 detonações sincronizadas geram pressão sobre o plutônio, que aumenta sua densidade e atinge a supercriticalidade, e o iniciador dá origem à reação em cadeia

Leo Szilard

Foi o pioneiro na concepção da reação em cadeia, e colaborou com Fermi para criar uma reação controlada. Teve importante participação no projeto Manhattan, mas sua independência fez com que fosse vigiado pelo FBI e lhe valeu a desconfiança de Groves, que limitou sua participação no projeto.



A DESTRUIÇÃO EM HIROSHIMA



DEVASTAÇÃO Hiroshima após a explosão da bomba de urânio

NOVEMBRO: Um relatório da academia nacional de ciências americana também conclui que a bomba é factível

DEZEMBRO: Os países do Eixo entram em guerra com os EUA

1942, JAN: Roosevelt recebe o relatório da academia de ciências e aprova a construção da bomba atômica

1942, AGOSTO: O exército assume o programa atômico e cria um órgão com o nome de "Distrito de Engenharia de Manhattan"

# História

PASSADO

ENTRE OS CIENTISTAS HAVIA GÊNIOS, REBELDES E ATÉ ESPÍOES

cionamento de uma das plantas de Oak Ridge, a K-25, consumia tanta eletricidade quanto a cidade de Boston. A construção da K-25 mobilizou 25 mil trabalhadores e trouxe um quarto do orçamento do projeto.

Para chefiar os cientistas, Groves convidou o americano Robert Oppenheimer, um físico já envolvido na pesquisa. Oppenheimer sugeriu a criação de um laboratório que centralizasse os esforços. Groves concordou e nomeou Oppenheimer para dirigir o lugar, que foi construído aproveitando as instalações de um colégio que existia no Novo México. Los Alamos começou a funcionar em abril de 1943. Por lá passariam cerca de 300 cientistas. Muitos já eram famosos, mas entraram para a história por sua associação ao projeto (veja fichas ao longo do texto).

Entre os pesquisadores era

praxe evitar a palavra bomba e só se referiam a ela como o "dispositivo". No fundo, muitos não queriam que a arma fosse realmente usada, por anteverem seu enorme poder destrutivo. Mas viam no trabalho em Los Alamos uma forma de participar do esforço de guerra, e temiam que a Alemanha criasse uma bomba atômica primeiro.

## Crise e sucesso

Em Los Alamos eles viviam totalmente separados do mundo, cercados por arames farpados e vigiados por guardas o tempo todo. Groves não confiava nos cientistas, além de ser profundamente autoritário e paranóico. Essa postura lhe valeu muitos atritos com os pesquisadores e não impediu que Klaus Fuchs, um dos físicos, vazasse informações confidenciais que ajudaram os soviéticos a produzir sua primeira bomba.

Oppenheimer organizou os cientistas em quatro divisões: uma teórica, uma experimental, uma química e outra de engenharia. Desde 1942 os físicos vislumbravam a construção de um mecanismo onde uma quantidade de plutônio ou urânio era disparada contra uma porção maior do mesmo material. A constru-

ção de uma bomba desse tipo, utilizando plutônio, foi o caminho inicialmente seguido.

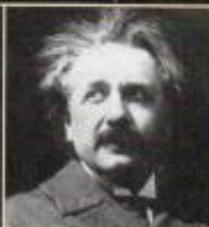
Na primavera de 1944 ficou claro que o modelo não iria funcionar. Oppenheimer contornou a crise reorganizando os grupos, focando-os no problema do mecanismo de explosão. No fim foram desenvolvidos dois tipos de bomba, cada uma com um mecanismo diferente (veja ilustração na página anterior). Little Boy (Garotinho) usava urânio 235 e Fat Man (Homem Gordo), plutônio.

Os cientistas achavam que o modelo de urânio funcionaria, mas o de plutônio precisava ser testado. Foi após esse teste que Oppenheimer pronunciou sua famosa frase.

Menos de um mês após o teste, a primeira bomba caiu sobre Hiroshima. "Eram 8 horas da manhã e a cidade estava funcionando normalmente", lembra-se o sobrevivente Takashi Morita, 81 (veja depoimento à direita). Ele, que hoje preside a Associação das Vítimas da Bomba Atômica no Brasil, diz que é sua responsabilidade fazer o possível para que não haja mais bombardeios. Mas o futuro parece reservar grandes desafios para os opositores das armas nucleares.

## Albert Einstein

Foi ele o descobridor da possibilidade de converter massa em energia. Em 1939, a pedido de Leo Szilard, concordou em assinar uma carta alertando o governo americano para o potencial uso militar da recém-descoberta da fissão do urânio. A carta resultaria posteriormente no projeto Manhattan.



HIROSHIMA  
E NAGASAKI

36 • Galileu • Agosto 2005

NOV

Groves decide construir um laboratório em Los Alamos para desenvolver o projeto da bomba

DEZ

Fermi consegue realizar a primeira reação em cadeia auto-sustentada

1943,  
FEV

Começa a construção das fábricas do complexo de Oak Ridge

MARÇO

Começa a construção do complexo de Hanford. Os primeiros cientistas chegam a Los Alamos. No mês seguinte começam os estudos sobre a bomba

## “Um dia quente”

Takashi Morita, 81, é presidente da Associação das Vítimas da Bomba Atômica no Brasil. Na época da explosão em Hiroshima, ele trabalhava como policial militar. Nessa entrevista ele conta suas memórias da tragédia e fala de sua missão.

**GALILEU:** Onde o senhor estava no momento da explosão de Hiroshima?

**Morita:** Andando pela rua, acompanhando um grupo, a 1.300 metros do centro da explosão. Na véspera eu havia estado exatamente no edifício onde ficava o epicentro da explosão.

**GALILEU:** O que aconteceu?

**Morita:** Vi um flash, como se fosse de uma câmera, mas muito, muito forte. Depois senti um calor na nuca. Vi uma escola, que estava em frente a mim, vir toda abaixo, e fui jogado no chão. Depois ficou escuro, não vi nada. Dai me levantei para ver se as pessoas estavam bem. Vi que atrás de mim estava um poste, que me protegeu. Além disso, eu estava de costas para a explosão e com o corpo bastante protegido pelo uniforme militar. Quem estava de frente para a explosão morreu na hora. Senti as queimaduras no pescoço. Nesse dia estava quente, e muitas pessoas estavam trabalhan-

do sem camisa. Essas também morreram na hora.

**GALILEU:** O que fez depois?

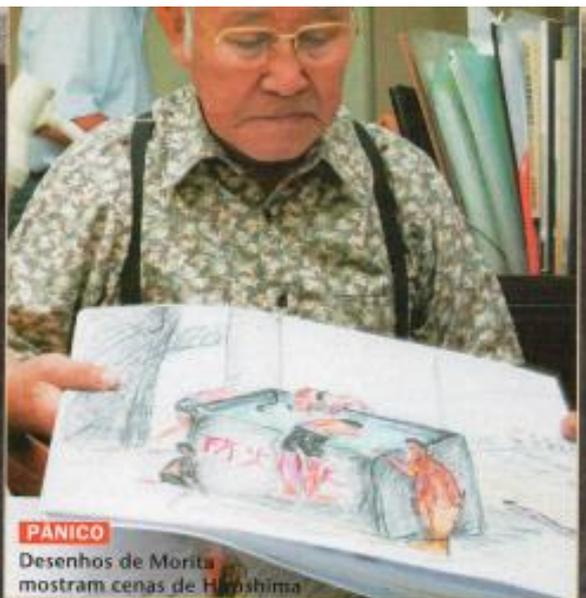
**Morita:** Fui até uma casa desabada onde havia uma velhinha soterrada pedindo ajuda. Com o auxílio das pessoas que estavam comigo consegui resgatá-la. Tudo ao redor estava devastado. Depois me dirigi ao centro e cheguei lá ao meio-dia. Vi Hiroshima toda queimada. Fiquei transportando feridos até um hospital que havia do outro lado da cidade, e de noite voltei para dormir no centro.

**GALILEU:** Conseguiu dormir?

**Morita:** Havia um cheiro de carne queimada que nunca vou esquecer, e não consegui dormir. No dia seguinte vi muita gente morrer no hospital por causa das queimaduras. As feridas atraíam insetos, que ficavam pairando sobre a pele das pessoas. As pessoas tinham manchas na pele, vomitavam e evacuavam sangue. Não havia praticamente mais médicos. Dois dias depois, deixei Hiroshima e fui internado num hospital.

**GALILEU:** O que viu ao caminhar pela cidade?

**Morita:** Fiz desenhos mostrando cenas. A primeira pessoa que vi foi uma mu-



**PANICO**

Desenhos de Morita mostram cenas de Hiroshima

lher que estava nua, com as mãos deformadas. Ela correu na minha frente e caiu no chão, morta. Outro mostra as pessoas queimadas que correram em direção aos reservatórios de água que estavam espalhados pela cidade. A água era para apagar incêndios. Como muitas dessas pessoas estavam com o corpo muito quente, a água gelada provocava um choque térmico muito violento, que podia ser fatal. Muita gente se jogou nos rios e morreu na hora.

**GALILEU:** Acredita-se que sem o bombardeio atômico o Japão não teria se rendido. O que o senhor pensa?

**Morita:** O Japão seria derrotado de qualquer forma. Mas os EUA estavam decididos a usar a bomba atômica, para mostrar aos russos seu poder. Tinham

duas bombas, uma de urânio e outra de plutônio. A primeira foi testada em Hiroshima e a segunda em Nagasaki. Se a bomba de Hiroshima foi bem-sucedida, não precisava jogar a de Nagasaki. Isso me deu muita raiva. Mas o Japão também tem culpa. Eu nasci em 1924 e desde pequeno ouvia que “o Japão é o país mais forte do mundo”. Na época não sabia que isso é errado. Mas agora sei que o Japão também é culpado. Por isso a culpa não é de americanos ou japoneses, é da guerra. Graças a Deus nos últimos 60 anos não houve outra bomba atômica. E nem pode haver. Elas são muito mais poderosas agora. Antes elas destruíam uma cidade, hoje podem acabar com o mundo. Eu sei como é. Por isso preciso falar alto. Esse é o nosso serviço.

Foto: Eustácio, divulgação; Morita: Ricardo Prado

1944, FEV

Ataque de agentes secretos ingleses destrói os estoques de água pesada alemães e exclui o país da corrida pela bomba atômica

MARÇO

Testados os primeiros modelos da bomba

1945, MAIO

A Alemanha se rende

JULHO

Primeiro teste atômico em Alamogordo, no Novo México

AGOSTO

São lançadas as bombas de Hiroshima e Nagasaki

# História

PRESENTE

DITO PAÍSES AINDA ACUMULAM MILHARES DE ARMAS NUCLEARES

**S**e há 60 anos só havia uma potência nuclear no mundo, hoje são pelo menos oito. Como chegamos até esse número? Graham Allison, diretor do Centro Belfer para assuntos internacionais, da Universidade Harvard, explica que um dos gatilhos da chamada proliferação nuclear foi o interesse dos países em garantir sua segurança. "Quase todo país tem uma relação competitiva com algum outro. E a pior situação é quando o seu competidor tem armas nucleares e você não", diz. A bomba atômica americana levou à bomba atômica russa. Para se defender dos russos surgiram os arsenais atômicos de Inglaterra, França e China. O me-

do da China gerou o programa nuclear da Índia, que foi copiado pelo seu inimigo Paquistão.

## A bomba e o status

Nessas seis décadas houve também uma forte mobilização internacional contra a proliferação nuclear, em grande parte capitaneada pelos esforços diplomáticos dos Estados Unidos e da ONU. A peça mais importante desse esforço é o Tratado de Não-Proliferação, que hoje conta com 184 países signatários. "Se todos os países que utilizam a tecnologia nuclear tivessem construído bombas, hoje seriam 60 potências atômicas", lembra Allison.

Após o fim da Guerra Fria, o esforço de não-proliferação obteve vitórias importantes. "Nos últimos 15 anos o número de países que abandonou a busca de armas nucleares é maior do que o daqueles que se empenhou em desenvolvê-las", diz Robert Einhorn, especialista em proliferação do Centro para Estudos Estratégicos e Internacionais, centro de pesquisa americano dedicado à política internacional. Ele contabiliza: "A África do Sul desmontou seis armas nucleares que havia construído; Brasil e Argentina abandonaram seus programas de armas nucleares; e Bielorrússia, Casaquistão e Ucrânia entregaram o armamento atômico que herdaram

## OS ARSENAIS DAS POTÊNCIAS NUCLEARES



**EUA**

Armas nucleares .....	11.000
Submarinos com mísseis .....	14
Bombardeiros .....	115
Mísseis Tomahawk .....	325
Mísseis balísticos intercontinentais ..	510
Mísseis balísticos em submarinos ...	336



**Inglaterra**

Armas nucleares .....	190
Submarinos nucleares ...	4



**França**

Armas nucleares .....	120
Mísseis em submarinos .....	48
Bombardeiros .....	70
Mísseis disparados de aviões .....	70

da URSS para a Rússia."

A Guerra Fria foi uma aventura cara. Só do lado americano estima-se que os gastos com armamento atômico tenham chegado a US\$ 5,5 trilhões. Não há estimativas para o investimento feito pelos russos, mas a impossibilidade da economia em atender aos altos gastos exigidos pela corrida armamentista levou à dissolução do país. Mas mesmo sem a ameaça de conflito iminente, as duas nações seguem possuindo gigantescos arsenais nucleares (veja abaixo). "São muito mais armas do que o que se presume necessário para o atual momento da relação entre os dois", diz o historiador irlandês David

Holloway, especialista no programa nuclear russo.

Qual a função das armas atômicas hoje? Um brasileiro estudioso do cenário nuclear que prefere não se identificar responde com outra pergunta: "Por que os EUA invadiram o Iraque e não o Irã ou a Coreia do Norte? Será porque o Iraque não tinha mais um programa nuclear ativo, enquanto os outros dois têm?" Holloway aponta outro motivo: "Há também um fator de prestígio. Os testes nucleares que a Índia executou em 1998, por exemplo, têm a ver com um esforço para redefinir seu papel no mundo".

**TECNOLOGIA**

Bombardeio B2, um dos elementos do arsenal atômico americano



**É** possível prever qual será o futuro do arsenal atômico que a humanidade possui hoje? "Previsões nessa área são difíceis", diz o historiador irlandês David Holloway, especialista no programa nuclear russo. E dá um exemplo: "Este ano vou participar de um evento comemorativo dos 60 anos do primeiro teste nuclear, onde estarão presentes cientistas que participaram do projeto. Tenho certeza que se você lhes dissesse, 60 anos atrás, quantas armas atômicas seriam construídas depois daquele teste, eles não acreditariam", analisa.

#### Sorte ou competência?

Mas Holloway pensa que outra informação, se relatada em 1945, espantaria ainda mais os construtores da primeira bomba: o fato de que, apesar de se terem construídas tantas armas atômicas, nenhuma jamais foi disparada durante a Guerra Fria.

"De alguma forma fomos muito sortudos ou muito competentes para termos conseguido evitar uma guerra nuclear até hoje. Esta foi, na minha opinião, a maior realização dos últimos 60 anos", avalia. "Mas o controle internacional sobre a proliferação das armas nucleares está diminuindo. Acho que isso gera a possibilidade de que elas venham a ser usadas nas próximas décadas. Não no contexto de uma guerra total como a que tivemos durante a Guerra Fria, mas num conflito localizado e menor, onde se usa-

riam uma ou duas armas para destruir uma cidade."

Para Graham Allison, diretor do Centro Belfer para assuntos internacionais, da Universidade Harvard, vivemos um momento inquietante no que diz respeito à questão do arsenal atômico: raras poucas se dão conta. "Uma vez que a Guerra Fria acabou, as armas nucleares parecem estar obsoletas, e a maior parte das pessoas pensa que elas são parte do passado", diz Allison.

Para ressaltar a atualidade do tema, ele destaca as conclusões, divulgadas em dezembro passado, de um painel de especialistas a quem o secretário-geral das Nações Unidas, Kofi Annan, encomendou um estudo sobre o tema. "A conclusão do painel foi que todo o sistema de não-proliferação que restringiu a maior difusão das armas nucleares até aqui está erodido quase irreversivelmente, e pode entrar em colapso no futuro próximo", explica.

#### A teoria do dominó

No centro do problema estão os programas nucleares de Coreia do Norte e Irã. Allison pensa que se nos próximos anos a Coreia do Norte conquistar o status de potência nuclear reconhecida e se o país muçulmano concluir a construção da sua infraestrutura nuclear, as consequências poderão surgir logo. "Vemos uma proliferação em cascata ocorrendo em outras nações. O caso da Coreia do Norte poderia levar

a um programa nuclear militar no Japão, na Coreia do Sul e talvez até em Taiwan. No caso do Irã, veremos reações no Egito e, talvez, na Arábia Saudita e na Síria."

#### Precisamos de sorte

O especialista em proliferação nuclear Robert Einhorn, pesquisador do Centro para Estudos Estratégicos e Internacionais, inclui outros elementos em sua análise do quadro atual. Entre os fatores preocupantes, ele aponta o interesse do grupo terrorista Al Qaeda por armas nucleares e a rede de contrabando de material nuclear organizada pelo paquistanês Abdul Khan. Desmantelada em 2003, a rede de Khan tinha entre seus clientes a Líbia e a Coreia do Norte, e teme-se que seus componentes voltem à ativa.

Quando nos programas estatais, Einhorn diz que hoje só Coreia do Norte e Irã buscam desenvolver armamento atômico. "Mas esses casos despertam preocupação legítima. E, dependendo de como foram manejados, poderemos ter em 60 anos muito menos ou muito mais estados nucleares. Essas são as opções", diz. Allison é enfático. "A julgar pela situação hoje, o futuro mais provável é aquele onde o número de potências nucleares se multiplica." Tomara que a humanidade de daqui a 60 anos seja disposta de sorte e de competência para não recorrer às armas atômicas que possuiará. □



### OS PERIGOS DO FUTURO

Especialistas apontam o líder da Coreia do Norte Kim Jong Il (acima), o chefe da Al Qaeda Bin Laden e a rede de contrabando criada por Abdul Khan (abaixo) como os elementos que podem mudar o cenário nuclear nos próximos anos.

### Para ler

- "The Making of the Atomic Bomb", Richard Rhodes. Simon & Schuster. 1986
- "Hiroshima 45 - O Grande Golpe", Heitor Bolchini Caulliraux. Lucerna. 2005
- "Stalin e a Bomba", David Holloway. Record. 1997

2- CANDOTTI, E. et al. Autos de Goiânia. Ciência Hoje, v.7, n° 40, p.3-5. 1988.



Lúcia Tirrezo — 1986

## É PRECISO NÃO ESQUECER GOIÂNIA

mostraram-se mais preocupados em esconder as próprias responsabilidades e proteger a imagem do programa nuclear do que em proteger a população. Os interesses da segurança nacional — nuclear, militar — prevaleceram.

O direito do cidadão à informação — já introduzido na nova constituição na forma do *habeas data* — não foi respeitado. Por que não se criou imediatamente uma comissão competente — idônea, insuspeita — para dirigir os trabalhos e informar responsabilmente a população? A tarefa foi entregue à CNEN. Ao contrário, a defesa da lei; ao omissor, a explicação de seus deveres. Cúmplice do crime, a CNEN não poderia explicar nem convencer ninguém. Sua credibilidade estava irremediavelmente comprometida. Ainda está.

Anos de descaso com a radioproteção e a segurança nuclear (onde estão os planos de emergência em caso de acidente em Angra?) dificilmente poderiam ser justificados. O reduzido apoio e os poucos recursos destinados à pesquisa sobre os efeitos biológicos da radiação e às aplicações de radioisótopos na medicina e na agricultura têm como contraponto o investimento crescente na área nuclear com objetivos subterrâneos (como na serra do Cachimbo), ou submarinos (como no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN e no centro de Aramar, em Iperó). Para constatá-lo, basta comparar os orçamentos do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e do IPEN, lembrando que o primeiro tem atribuições como o controle dos equipamentos de raios X — utilizados muitas vezes com pouca competência e péssima calibração — e a mensuração do teor de césio-137 no leite importado.

A CNEN levou quatro meses para responder perguntas que lhe foram

apresentadas pela Sociedade Brasileira de Física (ver "SBF interroga CNEN"). Continuamos desconhecendo informações importantes. Centenas de bombas permanecem sem controle — não se sabe se funcionam ou onde estão (em hospitais? em ferro-velhos?). O serviço de vigilância desses equipamentos não funciona desde 1982, quando a CNEN voltou sua atenção para outros programas, paralelos, de interesse militar. O sistema de armazenamento do lixo radioativo permanece indefinido. Do próprio acompanhamento epidemiológico em Goiânia restam sérias incógnitas. Parece ter sido transformado em questão assistencial ou acadêmica, de caráter local. As responsabilidades principais pelo crime de Goiânia — seja o da bomba ou o da desinformação — são do governo. Cabe a ele, no mínimo, assumir as consequências: designar os melhores técnicos e as mais confiáveis instituições para essa tarefa que deverá se prolongar por dezenas de anos. Para coordenar tal empreendimento, deveria ser chamada uma entidade nacional como por exemplo o CNPq — não a Fundação Leide ou o Núcleo de Acompanhamento da Universidade Federal de Goiás, que teriam grande dificuldade em garantir a continuidade dos trabalhos ao longo de décadas; e muito menos a CNEN, cúmplice do crime.

Por outro lado, preocupa constatar que, passados seis meses, o acidente caminha para o esquecimento. Pouco restou da lição. A CNEN, impune, nem ao menos foi desmembrada, com a atribuição da radioproteção a um instituto independente, como foi sugerido repetidas vezes. Os subterrâneos militares não o permitem, como não permitem que as questões nucleares sejam tratadas de modo civilizado, aberto e informado. Enquanto a aventura nuclear-militar prevalecer, outras Goiânias poderão ocorrer. É preciso não esquecer Goiânia. É preciso lavrar os autos.

Os editores

Que fazia uma bomba de césio-137 num hospital abandonado, semidestruído, em Goiânia, no dia 13 de setembro de 1987? Não era uma bomba qualquer. Era um equipamento de alto risco, cuja importação, manutenção, uso e guarda estão sujeitos a rigoroso controle. A legislação atribui esse controle a um órgão especializado do governo, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), hoje subordinado ao Conselho de Segurança Nacional.

A Vigilância Sanitária de Goiás não comunicou o abandono à CNEN, e esta de nada sabia. Os inquéritos e a Justiça pouco concluíram sobre as responsabilidades. A bomba foi roubada, violada e 19 gramas de césio-137 espalharam uma tragédia. Quatro pessoas morreram e muitas outras receberam doses elevadas de radiação. Cometera-se um primeiro crime, e a este se sucedeu um segundo, não menos grave: a desinformação — as autoridades de governo, indecisas, omitiram-se no esclarecimento do que estava ocorrendo. Conseqüência: a multiplicação das vítimas. Pânico e incerteza paralisaram Goiânia. A CNEN e o governo

# APRENDIZ DE FEITICEIRO

No dia 5 de setembro de 1987, o presidente José Sarney anunciou oficialmente que o Brasil já dominava a tecnologia de enriquecimento do urânio. Quase ao mesmo tempo, um fato que só veio a público no fim do mês obrigaria o país a encarar, de forma dolorosa, sua verdadeira face de aprendiz de feiticeiro em matéria de utilização de energia nuclear. Uma bomba de césio-137, abandonada há dois anos nos escombros do antigo Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) — desativado depois de sofrer uma ação de despejo —, foi dali removi-

da por dois sucateiros, violada e vendida como ferro-velho.

Entre a retirada da bomba da clínica em ruínas, ocorrida no dia 6 ou no dia 13 de setembro — os depoimentos divergem —, e a descoberta do fato pelas autoridades, dezenas de moradores de Goiânia conviveram com um material radioativo cuja periculosidade desconheciam. Atraídos pela luminescência do césio, adultos e crianças o manipularam e distribuíram entre parentes e amigos. Roberto Santos Alves e Wagner Mota Pereira, os sucateiros, Devair e Ivo

Alves Ferreira, donos de ferros-velhos, e Edson Fabiano, vizinho de Devair, transformaram-se involuntariamente em personagens centrais de um enredo infeliz. O saldo dessa experiência foi a morte de quatro pessoas, a amputação do braço de outra e a contaminação, em maior ou menor grau, de mais de 200.

Os primeiros sintomas da contaminação — náuseas, vômitos, tonturas, diarreia — apareceram algumas horas após o contato com o material. Desconhecendo a causa de seu mal-estar, as pessoas procuraram farmácias e hospitais e foram medicadas como vítimas de alguma doença infecto-contagiosa. Somente em 29 de setembro, um dia depois de a esposa e um empregado de Devair Alves Ferreira terem levado parte da bomba para a sede da Vigilância Sanitária, aqueles sinais foram identificados como característicos da síndrome da radiação.

Coube ao físico Walter Mendes Ferreira dar o alarme. Consultado na Secretaria de Saúde de Goiás, onde trabalha, por um médico que já suspeitava de contaminação radioativa em alguns pacientes recebidos pelo Hospital de Doenças Tropicais (HDT) de Goiânia, Mendes obteve na agência local da Nuclebrás um cintilômetro e foi até à sede da Vigilância Sanitária, onde a peça tinha sido posta sobre uma cadeira. O medidor confirmou a hipótese: ali estava a origem de tudo. Walter Mendes e o físico Flamarion Barbosa Coulart, que fora o responsável pelo equipamento no IGR, sugeriram as primeiras providências, como a evacuação dos locais em que a bomba permanecera e o recolhimento dos possíveis contaminados ao Estádio Olímpico, onde se improvisaram barracas para alojamento.

Simultaneamente, a Secretaria de Saúde de Goiás comunicava o fato à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que acabou por enviar a Goiânia, na madrugada do dia 30, o diretor de seu Departamento de Instalações Nucleares, José de Júlio Rozental. Na mesma data, chegaram à cidade técnicos do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e do Instituto de Pesquisas



Luis Tinano

Energéticas e Nucleares (IPEN), ambos da CNEN, e três médicos: um da Nuclebrás, um de Furnas Centrais Elétricas e um terceiro do IRD. Em seguida, a opinião pública era informada do episódio pela imprensa.

A partir da primeira semana de outubro, começaram a chegar ao Brasil, para ajudar no atendimento às vítimas, médicos e físicos de vários países. Entre eles, Günther Drexler, da Alemanha Ocidental; Elias Palacios e Juan Carlos Jimenez, da Argentina; Gerald Hanson, da Organização Mundial de Saúde (OMS); Robert Ricks, Robert P. Gale e Clarence C. Lushbaugh, dos Estados Unidos; e Georgui Selidovkin, da União Soviética.

O inquérito policial aberto para apuração do episódio indiciou como responsáveis diretos os médicos Carlos Figueiredo Bezerril, Criseide de Castro Dourado e Orlando Alves Teixeira, proprietários do IGR, e Amaurillo Monteiro, antigo proprietário do instituto, além do físico Flamarion Barbosa Goulart; e, como co-autores, o coordenador da Vigilância Sanitária de Goiás, Sebastião Ferreira de Carvalho, e o diretor do De-

partamento de Instalações Nucleares da CNEN, José de Júlio Rozental. Em fase posterior do processo, os dois últimos foram inocentados.

Seis meses após o acidente, Goiânia vive uma nova realidade. A maior parte das vítimas já voltou para suas casas; nove ainda permanecem alojadas na Fundação Estadual para o Bem-estar do Menor (Febem), aguardando a recuperação de suas moradias e o pagamento das indenizações pelo governo de Goiás. De acordo com a equipe médica que faz o acompanhamento mensal dos pacientes, todos eles foram descontaminados, seus quadros hematológicos estão sob controle e as radiolesões estabilizadas. No Hospital Geral de Goiânia (HGG), do Inamps, resta apenas um paciente internado com queimadura grave na perna, razão pela qual deverá submeter-se a uma cirurgia para recomposição dos tecidos lesados.

Com equipamentos, pessoal e indenizações, o governo do estado de Goiás gastou até agora cerca de dois bilhões de cruzados; só com alimentação e vestuário, a regional da Legião Brasileira de Assistência (LBA), em Goiânia, gastou

cinco milhões. Há ainda técnicos da CNEN trabalhando na cidade, pagos pelo governo, para a descontaminação definitiva das áreas afetadas.

O impacto que o acidente radiológico provocou na economia goiana é lamentável. Os comerciantes constataram uma queda significativa nas vendas de fim de ano: cerca de 23%, com relação ao mesmo período em 1986. Os prejuízos sofridos pela agropecuária, pelo comércio e pela indústria — de difícil avaliação — foram enormes. A discriminação e a rejeição selaram os produtos de todo o estado.

Debateu-se muito e ainda está em debate a questão do local escolhido pelas autoridades para enterrar os rejeitos radioativos gerados pelo acidente. Até 20 de dezembro último, havia sido acumulado um total de 3.000 m<sup>3</sup> de lixo atômico em 1.219 caixas, 2.822 tambores e 14 *containers* no depósito provisório, localizado a aproximadamente 20 km da capital goiana. Estima-se que, após essa data, tenham sido recolhidos mais 100 tambores de lixo. No entanto, o destino definitivo de todo esse material ainda permanece uma incógnita. □

# EM BUSCA DO CÉSIO

Joyce Landmann Lipsztein e Adriana T. Ramalho  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear

As vítimas do acidente radiológico de Goiânia obviamente não portavam dosímetro físico (instrumento capaz de medir a dose de radiação absorvida), como fazem as pessoas ocupacionalmente expostas à radiação ionizante. Por essa razão, foi preciso submetê-las aos métodos de dosimetria biológica, os únicos capazes, no caso, de avaliar o grau de exposição ao  $^{137}\text{Cs}$ . Após o acidente, foram identificados indivíduos que sofreram apenas irradiação e outros que, além disso, se contaminaram externamente (na pele) e internamente, através de alimentação contaminada e/ou de absorção intradérmica. Em ambos os grupos, a dose de radiação absorvida foi estimada com base na dosimetria citogenética, cuja metodologia está explicitada em "O cálculo das aberrações", à página 27 desta publicação.

Pelo método de dosimetria citogenética, foram feitas até o momento 60 estimativas de doses de radiação absorvida por pacientes expostos, que apresentavam ou não sintomas dessa exposição. Os resultados estão no quadro abaixo:

Dose estimada (em rads)	Número de casos estimados
0	14
1 a 100	27
101 a 200	6
201 a 400	5
401 a 600	6
601 a 700	2
> 700	0

Indivíduos contaminados internamente necessitavam de uma terapia adequada à eliminação do céσιο, que, incorporado ao organismo por inalação ou ingestão, continua a irradiá-lo. A avaliação da contaminação interna — e a conseqüente triagem das pessoas que precisavam dessa terapia — foi feita com base na quantidade de material radioativo presente na urina excretada. Detectados os casos de contaminação interna (65 pessoas), teve início o tratamento com cápsulas de azul-da-prússia, que acelera a eliminação do céσιο, principalmente pela excreção fecal. Para

avaliar a dose interna e controlar o efeito do medicamento, amostras de fezes e urina eram diariamente colhidas e processadas no IRD, no Rio de Janeiro. A comparação da excreção nas fezes e na urina é essencial para definir a ação do medicamento e sua dosagem. Até 22 de dezembro passado, haviam sido analisadas 3.250 amostras de urina e fezes de indivíduos vitimados pelo acidente de Goiânia.

Como complemento a essas análises, foi instalado pelo IRD no Hospital Geral de Goiânia, numa sala revestida de chumbo para reduzir a interferência da radiação natural, um contador de corpo inteiro — equipamento dotado de um detector de radiação de alta sensibilidade que permite a identificação e a quantificação de material radioativo no interior do organismo humano. Os indivíduos a ser monitorados, vestidos com macacões descartáveis, permanecem sob o detector durante dois minutos aproximadamente. A atividade mínima detectável para o  $^{137}\text{Cs}$ , a um nível de confiança de 95%, é da ordem de 9,3 kBq (0,250 mCi).

Os indivíduos que, direta ou indiretamente, mantiveram contato com pessoas ou com áreas contaminadas estão sendo examinados com esse equipamento. Até 20 de janeiro passado, haviam sido monitorados cerca de 300 indivíduos de ambos os sexos, com idade de alguns meses até 72 anos. Os resultados variam entre valores abaixo de 0,250 mCi até aproximadamente 1 mCi (37 MBq). O contador de corpo inteiro continuará montado em Goiânia até que sejam feitas as avaliações pormenorizadas de todas as pessoas que sofreram contaminação interna.

A partir dos dados fornecidos pelo contador de corpo inteiro e das análises de urina e fezes, desenvolveram-se modelos matemáticos que permitem estimar — de acordo com o sexo e a faixa etária — a dose de radiação que um indivíduo internamente contaminado por  $^{137}\text{Cs}$  receberá ao longo de sua vida. Esses modelos permitem também determinar a quantidade de  $^{137}\text{Cs}$  incorporada ao organismo de cada indivíduo e

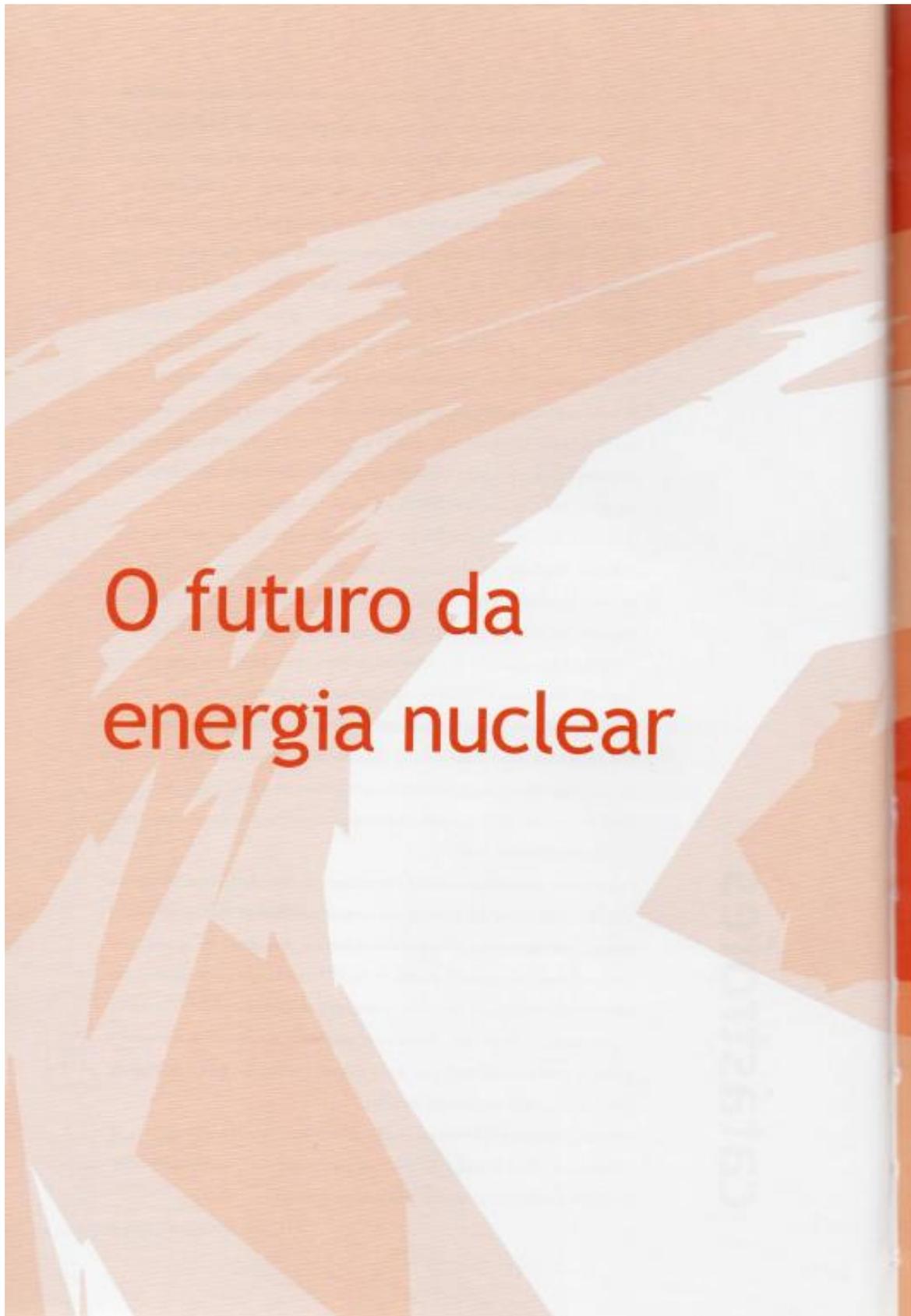
avaliar o efeito real do tratamento com azul-da-prússia.

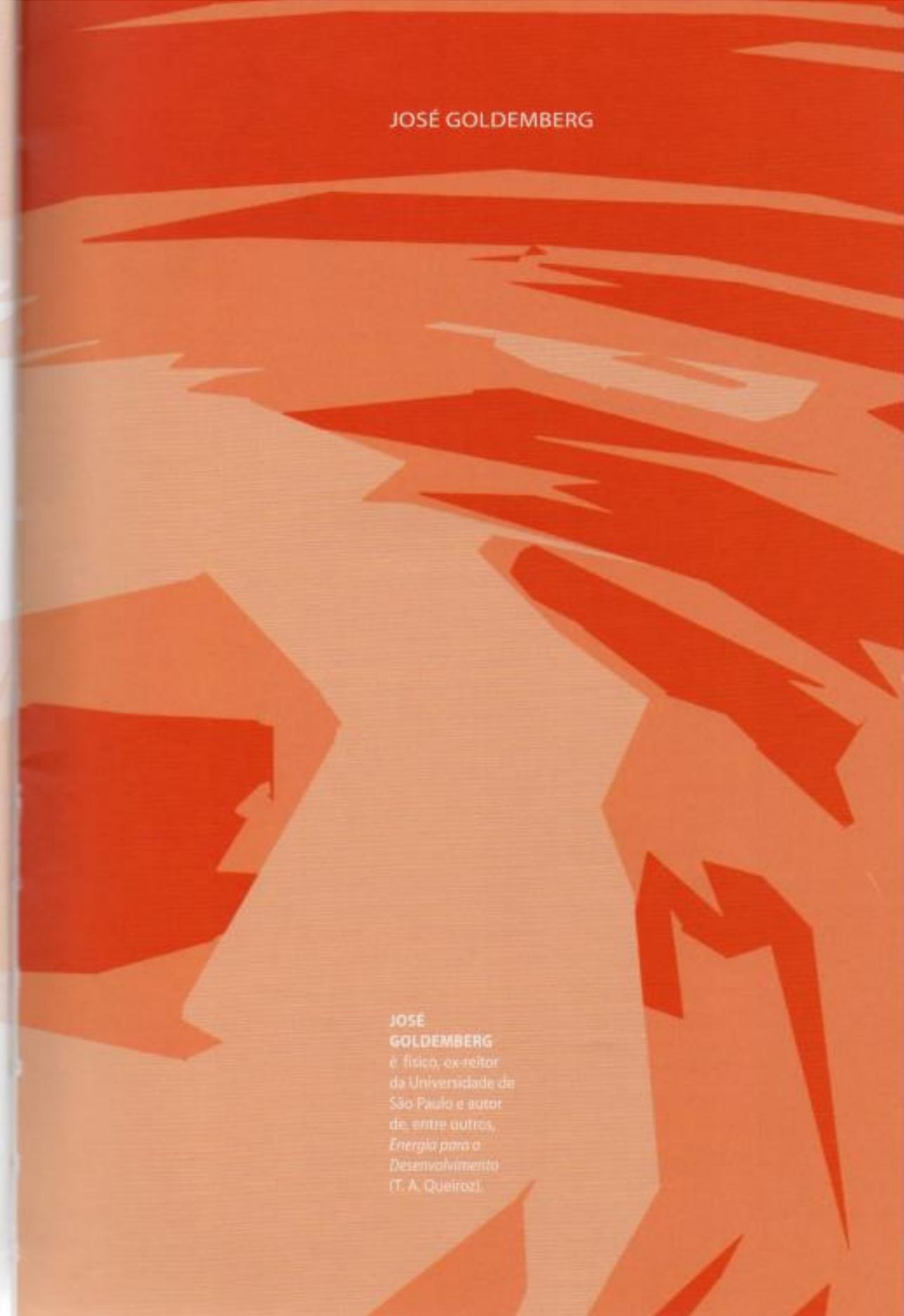
Em Goiânia foram encontrados 63 indivíduos cuja contaminação interna poderia ocasionar uma dose também interna de radiação superior ao limite aceitável de 0,5 rems estabelecido para o público, ao longo da vida. Desse total, nove foram contaminados com quantidades de  $^{137}\text{Cs}$  que acarretariam, ao longo da vida, doses superiores a 100 rems. Cabe observar, entretanto, que a ação do azul-da-prússia se tem mostrado extremamente eficaz. Até janeiro, esse medicamento já havia reduzido à metade, em alguns casos, e a um terço, em outros — de acordo com a dose administrada —, a quantidade de céσιο que ainda deveria estar incorporada ao organismo.

Também com base nesses modelos matemáticos foram elaboradas normas para a alta dos pacientes. Quando o indivíduo é liberado, o produto de sua excreção pode ser normalmente descartado no esgoto, sem oferecer perigo de contaminação, isto é, obedece ao limite de 0,4 mCi/l para a liberação de  $^{137}\text{Cs}$ , conforme a norma Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radioativas (CNEN-NE-6.05), elaborada em 1985 pela CNEN. Os indivíduos liberados podem reintegrar-se normalmente à comunidade, pois a quantidade de céσιο em seu organismo é de tal modo baixa que eles não constituem fonte de radiação prejudicial a outros indivíduos. Para a liberação, o nível de contaminação interna de um indivíduo deve ser tal que a taxa de exposição de outro indivíduo a ele abraçado seja inferior a 0,13 mR/h, ou seja, metade do limite permissível para exposição externa do público, que é de 0,25 mR/h. □

Integram também a equipe de monitoração individual do IRD Adelaide M. G. Azeredo, Ana Cristina H. Nascimento, Betânia Lobato V. Freire, Bernardo M. Dantas, Carlos A. N. Oliveira, Dunstana Rabelo de Mello, Josefa P. Villalobos, Lígia Julião, Luiz Bertelli Neto, Maria Cristina Lourenço e Maristela S. Santos. Colaborou com avaliação dosimétrica dos pacientes a dra. Iris Ferrari, da Universidade de Brasília.

- 4- GOLDEMBERG, J. O futuro da energia nuclear. Revista Usp, São Paulo/SP, n°91, p.6-15, set/out/nov. 2011.





JOSÉ GOLDEMBERG

**JOSÉ  
GOLDEMBERG**  
é físico, ex-reitor  
da Universidade de  
São Paulo e autor  
de, entre outros,  
*Energia para o  
Desenvolvimento*  
(T. A. Queiroz).

### RESUMO

O presente artigo discute o fenômeno da estagnação da energia nuclear no mundo. As causas são múltiplas e complexas, desde resistências sociais a elevados custos econômicos, passando pelos riscos ambientais ainda não equacionados, como mostrou o recente caso de Fukushima-Daiichi no Japão. As tentativas de promover a energia nuclear minimizando seus impactos se baseiam em argumentos aqui discutidos: baixa probabilidade de ocorrência, poucas mortes sob o aspecto estatístico, possibilidade de melhorias tecnológicas e de gerenciamento de resíduos e aspectos de governança. Em seguida, discute-se o papel da energia nuclear no Brasil à luz dos planos nacionais de energia.

**Palavras-chave:** energia nuclear, sustentabilidade, Brasil.

### ABSTRACT

*This article addresses the phenomenon of the world's nuclear energy stagnation. There are manifold and complex causes, from social resistances to high economic costs, and also environmental risks yet to be assessed, as the recent event in Fukushima-Daiichi in Japan has shown us. The attempts to promote nuclear energy and minimize its impacts are grounded on arguments discussed here: low probability of occurrence, low death toll statistically speaking, possibility of technological betterment and management of waste and governance aspects. Then we will discuss the role of nuclear energy in Brazil in the light of the national energy plans.*

**Keywords:** nuclear energy, sustainability, Brazil.

**A** grande maioria dos reatores nucleares em funcionamento foi construída durante a “era de ouro” da energia nuclear, entre 1965 e 1990, quando cerca de trinta reatores entraram em funcionamento por ano. A construção da maior parte desses reatores se iniciou, contudo, antes de 1975 e foi completada por volta de 1985.

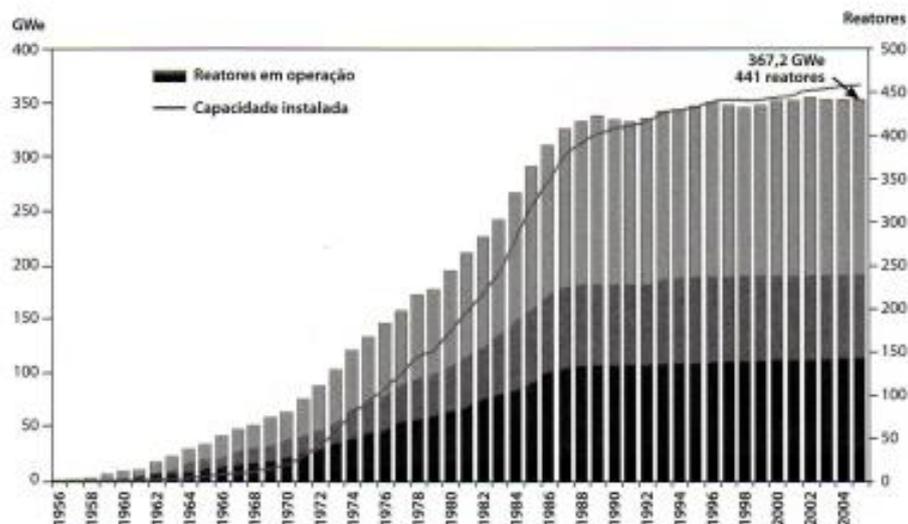
A expansão da energia nuclear no mundo após 1985 foi seriamente abalada pelo acidente de Three Mile Island, na Pensilvânia, Estados Unidos, em 1979. Na ocasião o núcleo de um reator do tipo PWR (reator a água leve pressurizada) fundiu devido a um defeito do sistema de resfriamento, o que, combinado com erros humanos dos operadores do reator, levou à liberação de uma quantidade pequena de radioatividade na atmosfera, principalmente iodo e césio radioativos. Apesar de pequeno, o acidente gerou grandes preocupações na população americana.

Em 1986 ocorreu o desastre de Chernobyl, que lançou na atmosfera (e nas áreas vizinhas ao reator) uma imensa quantidade de radioatividade, aproximadamente 400 vezes a quantidade liberada em Hiroshima. O reator de Chernobyl era muito diferente dos reatores usados no resto do mundo e muito menos protegido, mas ele mostrou o quão sério pode ser um acidente nuclear. Até hoje, uma área de 3.000 quilômetros quadrados em torno da usina é inabitada.

Após os acidentes de Three Mile Island (EUA, 1979) e Chernobyl (URSS, hoje Ucrânia, 1986), sérias preocupações levaram a uma redução considerável no número de reatores que entraram em funcionamento: cerca de três reatores por ano, ou seja, a expansão da energia nuclear estagnou.

No ano 2010 as usinas nucleares geraram cerca de 16% da eletricidade mundial. A maioria dos 440 reatores nucleares em operação no mundo está na Europa Ocidental, Estados Unidos e Japão, onde 64% de toda a energia nuclear mundial é gerada, e na ex-URSS. A capacidade instalada total é de cerca de 374 GW, aproximadamente igual à produzida pelas usinas hidroelétricas.

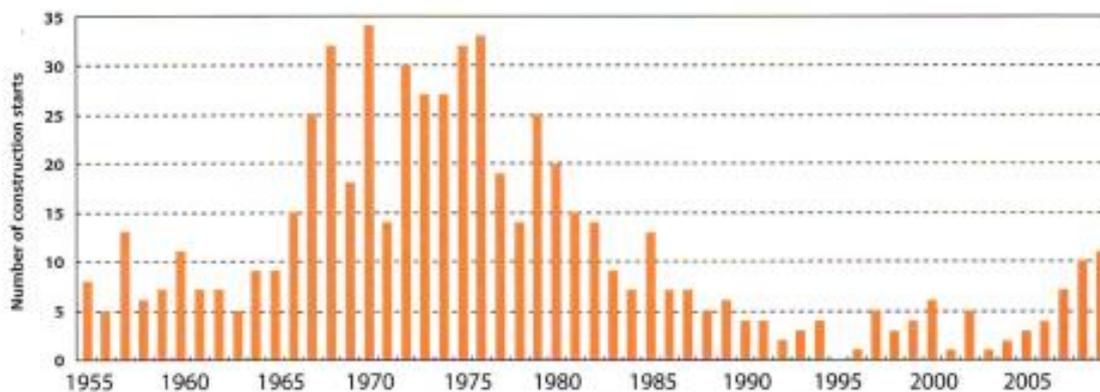
**GRÁFICO 1**  
**Reatores em operação: capacidade instalada**



As causas dessa estagnação nuclear são complexas: por um lado, a resistência da população preocupada com os riscos da energia nuclear e, por outro, razões mais pragmáticas, como o custo crescente dessa energia.

Como ocorre com outras tecnologias, esperava-se que o custo de instalação de reatores nucleares por quilowatt decrescesse à medida que mais reatores fossem construídos. Com a energia nuclear isso não aconteceu: os custos aumentaram devido às

**GRÁFICO 2**  
**Início de construção de novos reatores**



Fonte: IAEA PRIS

**TABELA 1**  
**Reatores nucleares em construção (2010)**

Pais		Total MW (elétrico)
Argentina	1	692
Brasil	1	1.245
Bulgária	2	1.906
China	26	27.230
Finlândia	1	1.600
França	1	1.600
Índia	4	3.564
Irã	1	915
Japão	2	2.650
Coreia do Sul	5	5.560
Rússia	11	9.153
Eslováquia	2	782
Ucrânia	2	1.900
Estados Unidos	1	1.165
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>62.562</b>

medidas de segurança adicionais introduzidas após os acidentes de Three Mile Island e Chernobyl.

Após o ano 2002, o governo Bush, nos Estados Unidos, fez grande esforço para promover uma "renascença nuclear", acelerando a concessão de licenças e usando recursos públicos para compensar as empresas construtoras por atrasos ocorridos no processo de licenciamento e construção dos reatores. Desde 2005 a construção de novos reatores adquiriu um novo ímpeto com reatores na China, Rússia, Coreia do Sul e outros, como mostra o Gráfico 2.

O exemplo dado pelos Estados Unidos, acompanhado de uma forte campanha de *marketing*, levou cerca de cinquenta nações, incluindo países em desenvolvimento, a manifestar à Agência Internacional de Energia Atômica interesse em entrar na "era nuclear" instalando reatores em seus territórios. Após 25 anos, o acidente de Chernobyl parecia esquecido e uma renascença nuclear estava em curso. O número de reatores em construção em 2010 era de 62, distribuídos entre vários países, mas concentrados na China,

Rússia, Coreia do Sul, Índia e Japão, como indicado na Tabela 1.

Em março de 2011, um forte terremoto, seguido por um grande *tsunami*, atingiu o nordeste do Japão e provocou sérias avarias em três dos seis reatores nucleares de Fukushima-Daiichi. Os fatos resultantes desses eventos são bem conhecidos: a perda de refrigeração nos reatores e nas piscinas onde os elementos combustíveis (altamente radioativos) fundiram e lançaram grande quantidade de radioatividade no ar e no mar. A quantidade de material radioativo liberado é estimada em 40 vezes a que foi liberada pela explosão nuclear em Hiroshima, mas 10 vezes menor que a de Chernobyl. O desastre foi classificado no nível 7 – o mesmo de Chernobyl – e a população num raio de 20 km dos reatores teve que ser removida (cerca de 100 mil pessoas).

Como resultado, a confiança na segurança dos reatores nucleares, que havia sido recuperada após 25 anos sem a ocorrência de acidentes de vulto, foi abalada levando a uma reavaliação dos procedimentos de segurança em todo o mundo. Provocou-se

também uma reavaliação do interesse em prosseguir no uso de reatores nucleares para a geração de eletricidade.

O setor nuclear tem tentado minimizar a gravidade do acidente de Fukushima usando basicamente dois argumentos:

1) *O acidente se deve a uma combinação extremamente improvável de um terremoto de grande intensidade seguido por um tsunami de proporções inesperadas.* Esse argumento evita enfrentar a verdadeira natureza do problema, que é a interrupção do fluxo de água através do núcleo do reator (ver Apêndice). Dessa maneira, com o aumento da temperatura, as barras de combustível fundem liberando enormes quantidades de radioatividade. O fluxo de água é essencial para a retirada de calor, e seu uso para geração de eletricidade pode ser interrompido não apenas por terremotos e tsunamis, mas também por falhas mecânicas e erros humanos, como ocorreu no acidente de Three Mile Island, nos Estados Unidos, em 1979. É possível melhorar a segurança dos reatores para que esses problemas sejam corrigidos a tempo, mas não existe segurança absoluta, e acidentes podem sempre ocorrer.

2) *O número de mortes decorrentes da exposição à radioatividade foi muito pequeno, e um número muito maior de mortes ocorre em acidentes na extração de carvão.* Esse argumento revela um desconhecimento da natureza dos efeitos da radiação nuclear sobre os seres vivos. Num acidente numa usina de carvão poderá morrer um certo número de pessoas mas elas são bem identificadas. Operários que trabalham numa mina têm consciência dos riscos que correm e em geral são remunerados para tal ou são cobertos por seguros. Quando ocorre um acidente nuclear, centenas de milhares de pessoas recebem doses pequenas de radioatividade, mas o efeito integrado da radiação nessas pessoas pode causar – estatisticamente – mudanças genéticas. O fato de as pessoas não morrerem porque receberam doses pequenas de radioatividade não significa que muitos não morrerão mais tarde devido à radiação. Em Chernobyl estima-se que

pelo menos 6.000 pessoas que viviam nos arredores da usina morreram de câncer nos dez ou vinte anos posteriores ao acidente. Existem também estimativas de que o número de mortos foi muito maior. Pessoas que recebem doses elevadas de radioatividade resultante de um acidente nuclear são vítimas involuntárias, não são remuneradas por viver perto de um reator e nem têm seguro. O sofrimento e a inconveniência de centenas de milhares de pessoas deslocadas de suas residências por muitos meses, como ocorreu com os que viviam num raio de 20 km das usinas de Fukushima, são muito difíceis de quantificar em termos financeiros, mas já se tornou evidente que o ressarcimento oferecido pela Tepco (empresa proprietária dos reatores) é irrisório. Em Chernobyl, até hoje, decorridos 25 anos, existe uma área de exclusão de cerca de 3.000 km<sup>2</sup>, de onde a população foi permanentemente removida.

É possível melhorar o desempenho de reatores e torná-los mais seguros, mas isso vai acarretar custos mais elevados, o que tornará a energia nuclear ainda menos competitiva do que já é em relação a outras formas de energia elétrica.

A grande maioria dos reatores nucleares em uso hoje começou a funcionar 30 ou 40 anos atrás e forçosamente terá que ser “aposentada” em breve. Os reatores de Fukushima funcionavam há mais de 40 anos. A redução da vida útil dos reatores diminuirá ainda mais sua competitividade econômica. Mais ainda, será preciso resolver de vez o problema do armazenamento permanente dos resíduos nucleares que se arrasta há décadas. Até hoje os elementos combustíveis usados – que são altamente radiativos – são depositados em piscinas situadas ao lado dos reatores, e um dos problemas em Fukushima foi a radioatividade liberada quando o nível da água da piscina baixou. Só nos Estados Unidos são 104 piscinas ao lado dos reatores lá existentes. Em Angra dos Reis também existe uma.

Finalmente há o problema de quem pagará pelas compensações para a população atingida pelos acidentes nucleares. Os limites fixados pelos governos para cobrir

esses danos são atualmente muito baixos e deverão aumentar muito.

Por essas razões vários países já decidiram adotar uma “estratégia de saída gradual” da energia nuclear. Bélgica, Suíça e Japão cancelaram a construção de novos reatores ou decidiram desativar reatores em funcionamento quando atingirem o fim de sua vida útil (cerca de 30 a 40 anos). A China suspendeu também a concessão de licenças para a construção de novos reatores até que uma completa revisão das normas de segurança seja feita. A Alemanha foi mais longe ao tomar a decisão de desativar todos os seus 17 reatores, que fornecem 22% da eletricidade consumida no país, até 2022.

Como resultado dessas decisões, a Agência Internacional de Energia reduziu a sua estimativa de geração nuclear à metade para 2035. A previsão antes do acidente de Fukushima era a de que até 2035 a capacidade mundial instalada, que é hoje de cerca de 350 milhões de quilowatts, dobraria. Essa previsão foi reduzida em 50%.

## ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

À luz desses desenvolvimentos no exterior, o que se pode dizer sobre o papel da energia nuclear no Brasil? A Tabela 2 mostra a contribuição das diversas fontes de energia em 2010 e as projeções para 2019 do Plano Decenal de Energia da Empresa de Planejamento Energético e do Plano Nacional de Energia do Ministério de Minas e Energia.

A energia nuclear representou, em 2010, 2% da eletricidade produzida no país, contribuição que deverá aumentar para 3,4% em 2019, com a entrada em funcionamento do reator Angra III a ser concluído em 2015. O Plano Nacional de Energia prevê a construção de quatro reatores nucleares além dos reatores Angra I, II e III, o que levaria a participação nuclear a 7,4% até 2030.

Uma das justificativas para expandir a contribuição nuclear à matriz energética brasileira é a de que ela supre eletricidade de base, complementando a geração

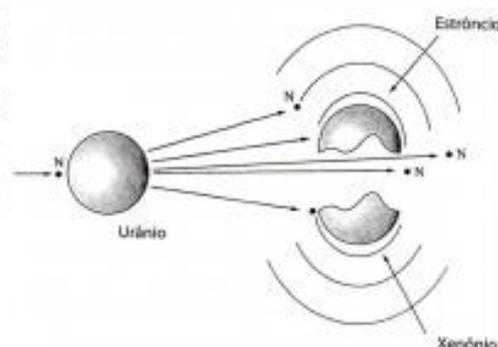
**TABELA 2**  
**Fontes de energia primária (milhões de toneladas equivalentes de petróleo)**

Fontes	2010	2019	2030
<b>Hidroelétricas</b>	<b>77,0</b>	<b>110,0</b>	<b>144,6</b>
<b>Térmicas</b>	<b>23,1</b>	<b>28,8</b>	<b>42,6</b>
Gás natural	11,3	11,5	17,5
Nuclear	2,0	3,4	7,4
Carvão	1,6	3,2	4,9
Outras	8,2	1,7	1,8
<b>Alternativas</b>	<b>1,3</b>	<b>28,2</b>	<b>44,8</b>
Hidroelétricas	3,6	7,0	9,0
Eólica	0,9	6,0	13,5
Biomassa	7,8	8,5	22,3
<b>Importação (Itaipu)</b>	<b>5,7</b>	<b>6,7</b>	<b>4,0</b>
<b>Total</b>	<b>118,1</b>	<b>173,7</b>	<b>236,0</b>

hidroelétrica, que varia sazonalmente. Outras fontes térmicas, como carvão, gás natural e eletricidade gerada com bagaço de cana, no entanto, estão na mesma categoria. Outra justificativa é a de que as reservas de minério de urânio do Brasil para geração nuclear são elevadas (cerca de 300 mil toneladas de óxido de urânio), a um custo inferior a 130 dólares/kgU, o que poderia conduzir o país à autossuficiência nessa área ou até levá-lo a se tornar um exportador de urânio. Apesar de apreciáveis, as reservas brasileiras representam apenas 6% das reservas mundiais. Além disso, o óxido de urânio não é combustível de reatores nucleares, mas tem que passar por um longo processo de produção e "enriquecimento" no isótopo U235 até que possa efetivamente ser usado nos reatores, como consta no Plano 2030.

O Brasil domina a tecnologia do ciclo do combustível, inclusive a principal fase, que é o enriquecimento. A primeira fase da unidade de enriquecimento, de Resende, cuja conclusão é prevista para breve, deverá suprir 60% do combustível consumido nas usinas de Angra I e II. Contudo, o enriquecimento de urânio exige instalações consideráveis, cujo custo de capital é de cerca de 1 bilhão de dólares. Uma carga típica de reator como o de Angra II custa cerca de 10 milhões de dólares no mercado internacional. É por essa razão que, para

**FIGURA 1**  
Fissão do urânio em estrôncio e xenônio



justificar a construção de uma unidade de enriquecimento, que custa 1 bilhão de dólares, seriam necessários pelo menos dez reatores nucleares em funcionamento. Caso contrário, valeria mais a pena comprar o urânio enriquecido no mercado internacional, onde a capacidade de enriquecimento supera o consumo atual no mundo, havendo, portanto, capacidade ociosa.

Esse é um argumento de natureza puramente econômica. Para alguns países a garantia de independência nacional nessa área poderia exigir a capacidade de produzir seu próprio urânio enriquecido. Esta, contudo, é uma opção política e não econômica.

É evidente que o Brasil tem amplas oportunidades de produzir a energia de que necessita sem a presença de um grande parque de reatores nucleares, e a reavaliação do Plano Nacional de Energia em curso aponta claramente para a redução da contribuição nuclear, em sintonia com o que está ocorrendo no resto do mundo.

A "queima" de 1 kg de urânio libera a mesma quantidade de energia que 16 mil toneladas de um combustível fóssil.

Na fissão nuclear são emitidos nêutrons e radiação gama. Os fragmentos finais, que são radioativos, constituem os rejeitos nucleares, um dos problemas mais sérios resultantes do uso desse tipo de energia.

Na fissão de um átomo de urânio por um nêutron são produzidos outros três

#### APÊNDICE

O uso da energia nuclear para a produção de eletricidade foi um subproduto do desenvolvimento das armas nucleares com fins militares durante e após a Segunda Guerra Mundial (1939-45). A energia nuclear não é baseada na energia mecânica nem na energia química (como na queima dos combustíveis fósseis). A fonte da energia nuclear é a desintegração dos núcleos de átomos de urânio, que libera uma quantidade considerável de energia na forma de energia cinética dos fragmentos como estrôncio (Sr) e xenônio (Xe), que, em geral, são radioativos. Esse processo é chamado de *fissão nuclear* e pode ser produzido bombardeando-se átomos de urânio com projéteis adequados como nêutrons (Figura 1).

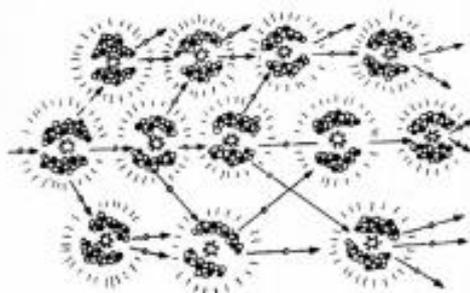
nêutrons que, por sua vez, podem provocar outras fissões dando origem a uma reação em cadeia que leva à fissão de um número enorme de outros átomos. Se esse processo ocorrer rapidamente, ele dará origem a uma explosão nuclear, que é basicamente um grande número de átomos de urânio fissionando-se num curto espaço de tempo (Figura 2).

É possível também "queimar" o urânio lentamente, o que aquece a centenas de graus as barras de urânio. Nos reatores a água fervente (BWR), a água circula em torno dessas barras, retirando seu calor, e se converte em vapor superaquecido, que aciona uma turbina, gerando eletricidade da mesma forma que numa termelétrica convencional, em que a fonte de calor é a queima de carvão, petróleo, gás ou biomassa (Figura 3).

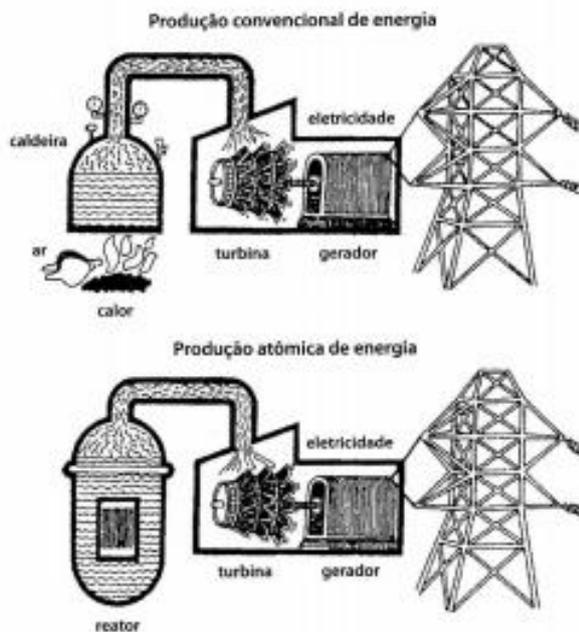
Nos reatores a água pressurizada (PWR), que são os mais utilizados no presente, a água é mantida em alta pressão e não ferve, mas seu calor é transferido a um sistema secundário através de trocadores de calor. Nesse sistema a água se vaporiza e move as turbinas.

A preparação do urânio requer um "ciclo de combustível" completo, desde a extração e purificação dos sais de urânio e a sua conversão em um gás, até o "enriquecimento" do urânio no isótopo fissionável U235. O U235 constitui apenas 0,7% do total, sendo o restante U238. É necessário utilizar uma mistura de urânio com pelo menos 3% de U235 na maioria dos reatores nucleares comerciais. O enriquecimento consome

**FIGURA 2**  
Reação nuclear em cadeia



**FIGURA 3**  
Energia termelétrica gerada por meios convencionais e por usina nuclear

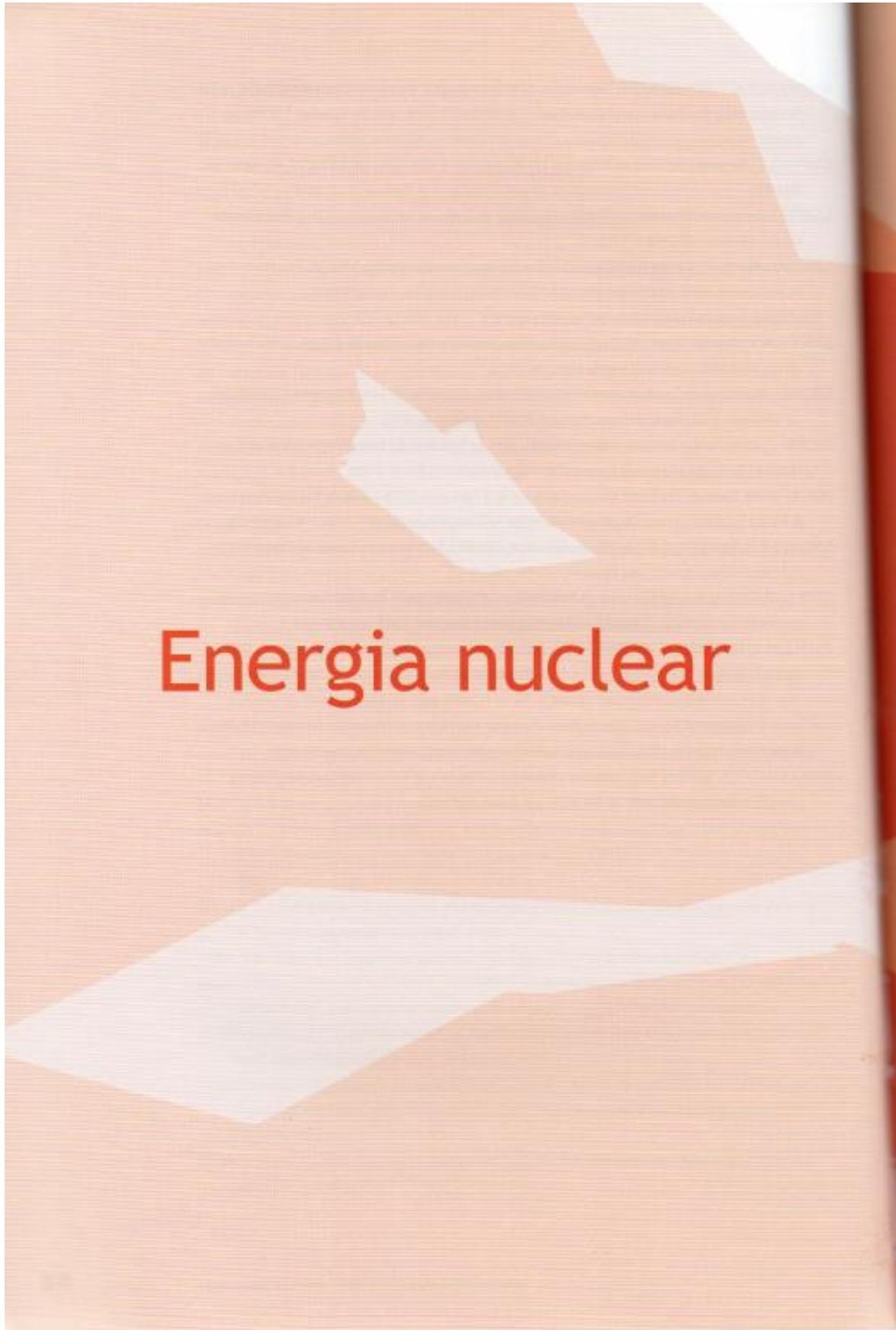


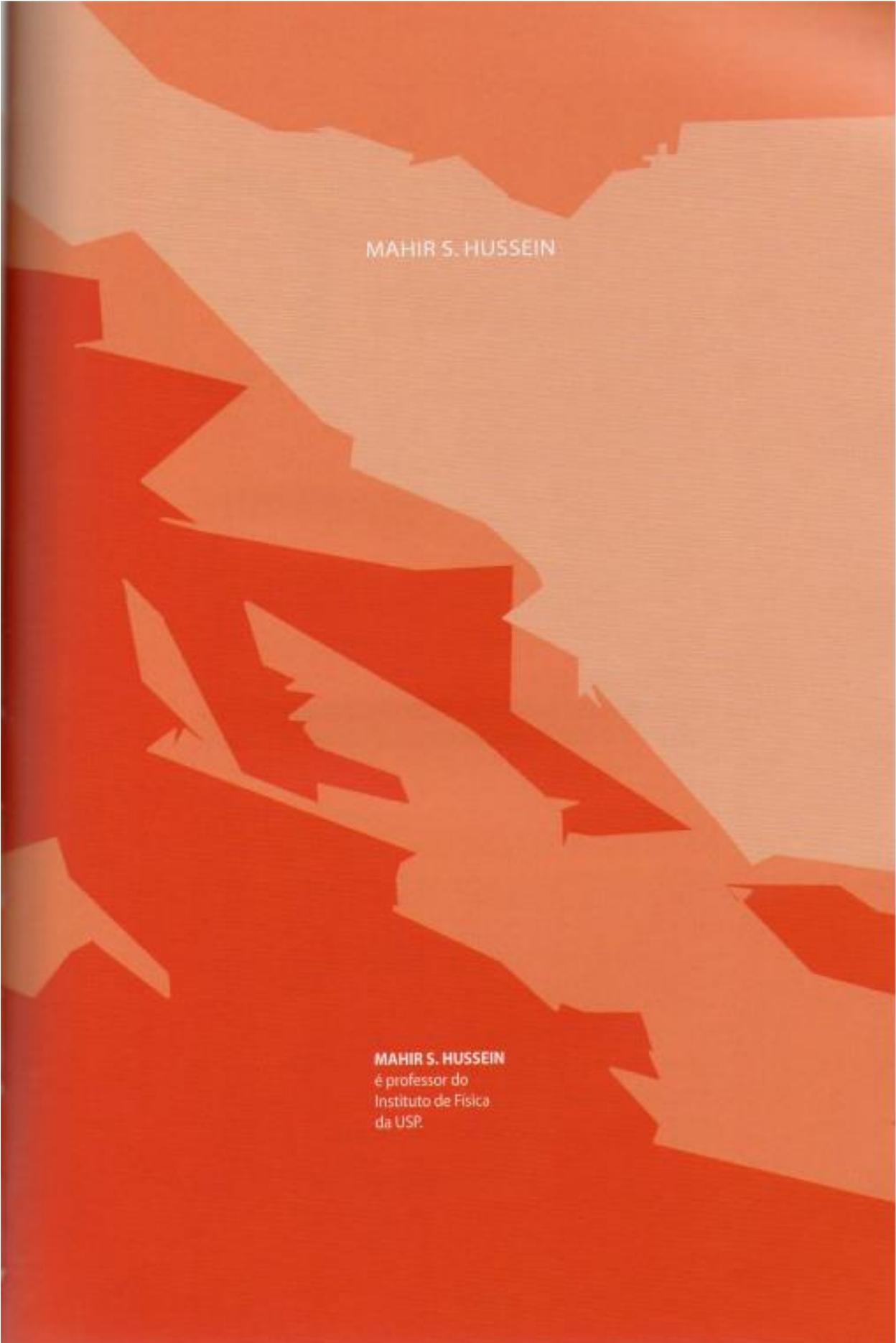
grandes quantidades de eletricidade e, assim, dependendo da origem dessa eletricidade, a emissão de poluentes pode ser significativa nesse processo.

Uma das características mais interessantes da geração de eletricidade com reatores nucleares é a pequena quantidade de combustível necessária para a operação das usinas. Uma usina termelétrica de um milhão de quilowatts, queimando carvão – as quais existem muitas no mundo –, necessita de 2 a 2,4 milhões de toneladas de carvão por ano. Um reator nuclear, apenas trinta toneladas de urânio. Isso se deve ao fato de que a energia liberada pela fissão nuclear é milhões de vezes maior do que a liberada nas reações químicas.

A produção de energia nuclear não resulta em emissões de gases responsáveis pelo aquecimento da Terra, que é o caso quando se produz energia elétrica com combustíveis fósseis, como carvão ou gás natural. As preocupações com o "efeito estufa" levaram vários ambientalistas a apoiar uma "renascença nuclear".

5- HUSSEIN, M.S. Energia Nuclear. Revista Usp, São Paulo/SP, n°91, p.56-63, set/out/nov. 2011.





MAHIR S. HUSSEIN

**MAHIR S. HUSSEIN**  
é professor do  
Instituto de Física  
da USP.

## RESUMO

Abordamos neste artigo algumas considerações importantes sobre o uso da energia nuclear. Respondemos questões gerais de interesse para o público como: o que é energia nuclear; por que usar urânio como combustível nos reatores; como avaliar a segurança das usinas no caso de abalos sísmicos; e qual a função da Agência Internacional de Energia Atômica.

**Palavras-chave:** energia nuclear, combustível, abalos sísmicos.

## ABSTRACT

*In this article we will address some important considerations on the use of nuclear energy. We will answer questions of general interest to the public, such as: What is nuclear energy? Why do reactors use uranium as fuel? How can we assess the safety in nuclear plants when there are seismic events? What is the role of the International Atomic Energy Agency?*

**Keywords:** nuclear energy, fuel, seismic events.

**O** que é energia nuclear? Por que urânio? Como avaliar a segurança das usinas nucleares? (Efeitos sísmicos nas usinas). Qual a função da Agência Internacional de Energia Atômica?

As perguntas acima são frequentes e ficaram ainda mais relevantes depois dos acontecimentos sísmicos devastadores no início de 2011 no Japão.

Vamos responder a elas de uma maneira simples e acessível ao público em geral. Há muito tempo, desde a época da Segunda Guerra Mundial, se debate a questão de uso pacífico da energia nuclear, a mesma gerada de forma incontrolável numa explosão nuclear. A palavra “controlável” acaba se tornando algo fundamental nas questões que estamos abordando. O físico italiano Enrico Fermi foi o primeiro a mostrar que o processo nuclear que gera a energia poderia ser controlado, e a partir de então foram construídos inúmeros reatores e usinas para gerar eletricidade a partir da fissão nuclear, mecanismo físico responsável pela geração da energia. A segurança dessas usinas, tanto no sentido de assegurar o seu funcionamento, quanto no de impedir o uso indevido dos produtos da combustão nuclear para fins militares, é de primordial importância. Elaboramos mais sobre essas questões em seguida.

## O QUE É ENERGIA NUCLEAR?

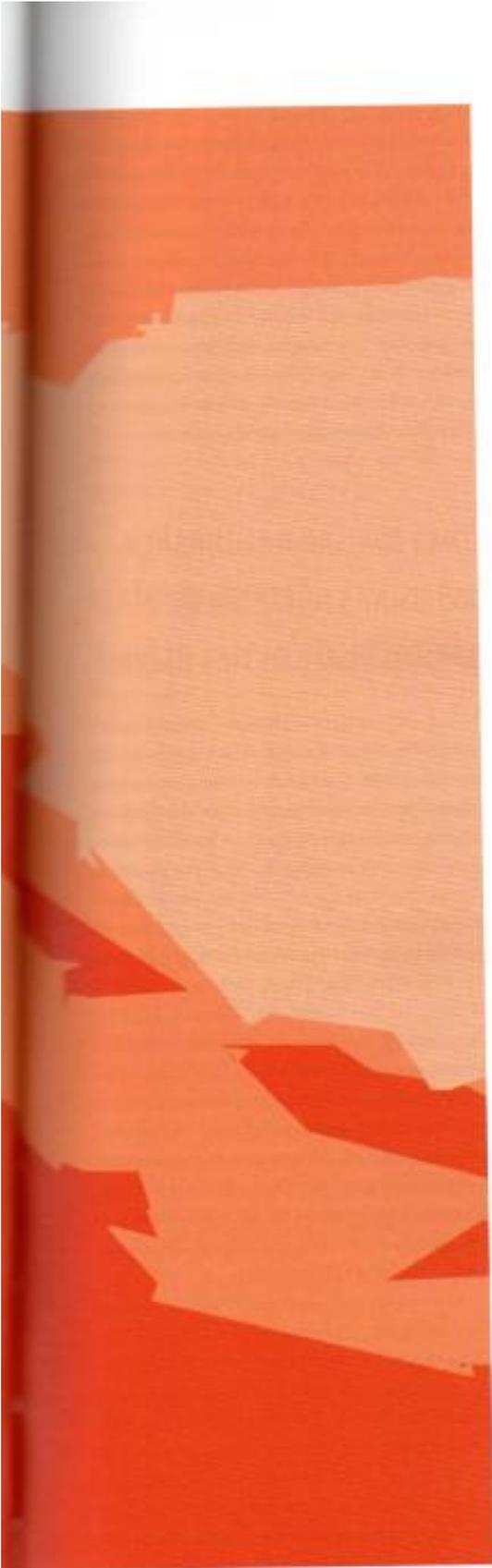
Albert Einstein, num trabalho famosíssimo em 1905, sugeriu a equivalência entre matéria e energia através da sua fórmula mágica,  $E = mc^2$ , onde  $m$  é a massa e  $c$  a velocidade da luz no espaço livre cujo valor é 299.792.458 metros/segundo, que se aproxima de  $3 \times 10^8$  metros/segundo.

A partir dessa equação se imagina a transformação de uma quantidade mesmo pequena de massa  $m$  em uma quantidade enorme de energia. Para dar um exemplo, considere uma massa de 1 grama que, por algum mecanismo, se transforma em energia. Usando a fórmula de Einstein se deduz que 1 grama de matéria poderia produzir 90 milhões de megawatts de potência de energia (1 megawatt = um milhão de joule por segundo), se transformada inteiramente.

O funcionamento da produção de energia nuclear se baseia nas considerações acima. Há dois modos de transformar matéria em energia: fusão e fissão. No primeiro processo se juntam dois núcleos para formar um núcleo maior. Para gerar energia nesse processo utilizam-se elementos leves como deutério (um núcleo de hidrogênio + um nêutron), trítio (núcleo de hidrogênio + um nêutron), etc. Juntando-se esses núcleos para produzir hélio, libera-se uma quantidade de energia muito grande devido à pequena diferença de massa entre a soma das massas dos núcleos originais e a massa do núcleo de hélio.

O outro processo, fissão, envolve a quebra de núcleos bem pesados ao serem bombardeados por nêutrons. O resultado da fissão é a produção de dois ou mais núcleos mais leves altamente radioativos. Há uma pequena diferença de massa entre o núcleo original e a soma das massas dos núcleos filhos. Essa diferença na massa aparece como energia, de acordo com a equação de Einstein. Assim se gera a energia nuclear! Fissiona-se um núcleo do átomo de urânio, e libera-se energia. É claro que tem que haver um mecanismo que torne o processo contínuo. Para isso a própria natureza dá sua contribuição no sentido de que, ao se fissionar o urânio, não somente se produz energia e núcleos filhos, mas também mais nêutrons, que por sua vez induzem a fissão de mais núcleos, e o processo se repete em princípio sem controle. O resultado desse processo é uma reação em cadeia fora de controle, que é usada para fabricar bombas atômicas. A energia nuclear usada para fins pacíficos é produzida em reatores nucleares onde se controla a reação em cadeia. Tal feito





é realizado por meio de moderadores que absorvem uma parte dos nêutrons produzidos no processo de fissão. A estrutura básica de reatores nucleares é relativamente simples: barras de combustível (urânio ligeiramente enriquecido) + barras de moderadores (grafite) + refrigerador (água). A energia liberada pela fissão acaba aquecendo a água, que, ao produzir vapor, opera as turbinas para produzir eletricidade.

## POR QUE URÂNIO?

É utilizado como combustível de fissão um elemento químico cujo núcleo tem a propriedade de altíssima probabilidade de captura de nêutrons. Há vários elementos que têm essa característica, mas o campeão deles é o urânio.

O princípio físico da energia nuclear é, portanto, simples. O desafio maior na construção de usinas é um problema de engenharia. Preparar o combustível é problema em química: há minério de urânio natural que contém três isótopos, U238, U235 e U234. Os últimos dois são isótopos radioativos de longa vida (0,1-0,2 milhão de anos). O U238 tem uma concentração da ordem de 99,26% e não fissiona ao ser bombardeado por nêutrons térmicos (lentos).

O segundo e o terceiro são os únicos que têm essa propriedade (de fato, U233, ao ser bombardeado por nêutrons, se transforma em U234 num estado quântico excitado que fissiona). A porcentagem de U235 no urânio natural é muito reduzida, em torno de 0,72%, enquanto a do último é 0,0054%. Por isso é preciso "enriquecer" o urânio para aumentar a porcentagem desses isótopos. Urânio enriquecido até 5% quer dizer que a porcentagem de U235 é artificialmente aumentada para 5% no minério. Esse material processado é o usado em reatores nucleares. Enriquecimento maior implica um potencial uso em reatores menores, que são montados em submarinos, e com valores muito altos, como 80% a 90%, é possível fabricar artefatos nucleares explosivos. Por isso há grande preocupação em fiscalizar o

processo de enriquecimento para ter certeza que o uso seja para fins pacíficos.

Salientamos ainda que mesmo o uso nos reatores nucleares do urânio enriquecido até 5% poderia eventualmente levar, após o processo da produção da energia, a um material potencialmente bélico. O isótopo benigno U238 se transforma em U239 ao absorver um nêutron. Esse novo isótopo não é estável (sobrevive apenas 23 minutos), e decai para o núcleo de plutônio Pu239, que tem uma vida bem mais longa (24.110 anos). Esse núcleo é também fissionável e poderia ser usado para fabricar bombas nucleares (as bombas usadas no Japão no fim da Segunda Guerra Mundial foram de U235 em Hiroshima e de Pu239 em Nagasaki).

É uma questão importante na segurança nuclear a fiscalização da quantidade de Pu239 produzido após um longo uso das usinas, e o modo como esse produto (que é nocivo tanto nuclear como quimicamente) é coletado e eventualmente destruído. Salientamos ainda que o conhecido "lixo nuclear" não contém somente o plutônio, mas outros isótopos produzidos ao se fissionar o núcleo de U235. São produtos "industriais" mais alarmantes no sentido de que eles são altamente radioativos e com meia-vida suficientemente curta (algumas décadas) para afetar a saúde humana. Como queimar ou se livrar desses produtos é algo que motiva inúmeras discussões. Uma das técnicas usadas é enterrá-los em locais afastados. Uma outra, mais eficiente, porém cara, é literalmente queimá-los usando aceleradores de partículas (prótons). Essa técnica prevê construir tais aceleradores num local próximo às usinas. Devido ao alto custo (mais que 1 bilhão de dólares) é somente usada em alguns países.

Pode-se perguntar se há outro meio de produzir energia nuclear de fissão que não deixe resíduos radioativos. De fato há: é a utilização de U233, que não existe na natureza como combustível. Pode-se produzi-lo através da captura de nêutrons pelo abundante elemento Th232 (tório). Ao absorver um nêutron, esse elemento se transforma em U233, que por sua vez pode capturar um nêutron e, fissionado,

produzir energia e mais nêutrons, e o ciclo se repete. Essa técnica não produz plutônio e, portanto, é potencialmente mais segura. Vários fatores, que variam desde engenharia até custo econômico, tornaram esse projeto menos popular. Mesmo assim, países onde há grandes depósitos de tório e não tanto urânio, como China e Índia, têm em andamento projetos de construção de usinas movidas a tório. No Brasil, há grande quantidade de minério de urânio e evidentemente as usinas de Angra são de urânio.

## COMO AVALIAR A SEGURANÇA DAS USINAS NUCLEARES? (EFEITOS SÍSMICOS NAS USINAS)

Em países com atividade sísmica apreciável, torna-se importante a questão de segurança da estrutura e construção das usinas nucleares com relação a possíveis abalos. Especial cuidado é tomado para garantir a manutenção da integridade dessas estruturas. No Japão, onde esses abalos são frequentes, todos os prédios de grande porte são construídos sobre molas, que amortecem as vibrações da terra. Não há evidências de que os recentes acontecimentos no Japão, que abalaram o país e colocaram mais uma vez a segurança das usinas nucleares em xeque, resultaram em estragos estruturais devido ao terremoto. Foi o *tsunami* que acompanhou o terremoto que gerou os grandes problemas em virtude da imensa quantidade de água que inundou uma grande parte da região costeira e afetou o funcionamento das usinas.

Não houve o *meltdown* que marcou para sempre Chernobyl. *Meltdown* ou fusão refere-se ao processo em que o calor transportado pela água fica inferior ao calor gerado nas barras de combustível nuclear de tal maneira que este último acaba por fundir. Esse dano à estrutura do componente fissionável representa um perigo imenso que tem que ser evitado. Na usina de Chernobyl, aconteceu exatamente isso,

o que levou a usina a sofrer grandes danos com vazamento letal de material radioativo. Mas o acidente de Chernobyl não ocorreu como consequência de abalo sísmico, mas devido a um defeito na construção da usina. Mesmo assim, todo cuidado é necessário para garantir que, no caso de atividades sísmicas de grande porte, não ocorram abalos na estrutura da usina. No caso das usinas de Angra dos Reis, seria de grande valia que a prefeitura da cidade instalasse um sistema de alerta à população no caso de qualquer problema que pudesse afetar o funcionamento dos reatores.

## REATOR NATURAL?

É incrível que a própria natureza tenha “fabricado” o primeiro reator! No Gabão, país africano, na região de Oklo, há evidências claras da existência, no passado distante, de um acúmulo de urânio naturalmente enriquecido até chegar à massa crítica que iniciou uma reação em cadeia. Essa reação se manteve muito tempo até se extinguir. Sua descoberta foi feita pelo francês Francis Perrin em 1972. O que se encontrou ao se analisar a composição do minério de urânio foi uma porcentagem menor de U235, de 0,717%, comparada com o usual 0,72%. Essa diferença significativa somente pode ser explicada pelo esgotamento devido à fissão (o mesmo efeito acontece em reatores convencionais: a porcentagem de U235 é gradualmente diminuída até que o reator pare de funcionar depois de alguns anos). Esse reator deveria ter começado a funcionar

aproximadamente 1,8 bilhão de anos atrás, durando algumas centenas de milhares de anos. Vários outros sítios foram achados em Oklo com concentração de U235 de apenas 0,44%, indicando claramente a ocorrência de reação de fissão muitos anos atrás. Como começou esse reator? Há evidências de que a água inundou os depósitos de urânio em Oklo, agindo como moderador e refrigerador para permitir o início e a continuação da reação de fissão em cadeia. A água evaporou por causa do calor advindo da reação nuclear, mas mais água voltou a inundar os depósitos de urânio, e assim ocorreu o reator nuclear natural na África!

## QUAL A FUNÇÃO DA AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA?

A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA, sigla em inglês IAEA) foi estabelecida nos anos 50 para, durante o período da Guerra Fria, fiscalizar o processamento de urânio e garantir que o plutônio produzido nas usinas não tivesse finalidade militar. Há inúmeros centros de vigilância ligados à IAEA cuja função é fornecer informações e recomendações sobre como armazenar o lixo nuclear produzido, e ajudar na coleta de plutônio para poder descartá-lo. Há vários organismos ligados à IAEA que trabalham nas várias facetas de coleta de informações nucleares usadas para fins pacíficos.

- 6- PORTELA, F. LICHTENTHÄLER FILHO, R. Energia Nuclear. São Paulo: Editora Ática. 2000.

## 1

## Os perigos de um estranho pó azul

Quando ficava sozinha em casa, fazendo a comida e a arrumação, Gertrudes lia e relia a carta que, há uma semana, alguém deixara sobre a mesinha ao lado da televisão.

Na verdade, a casa vivia agora em função daquela carta. Depois da meia-noite, por exemplo, Simão se levantava para beber água e relia a carta. A mesma coisa faziam os filhos do casal, Gérson e Rosália, quando não havia alguém por perto.

Estava lá, escrito no envelope: "Aos tios Simão e Gertrudes Saraiva". E o remetente: "Homero Saraiva". E a mensagem: "Tios: aceitei o convite; vou passar o mês de novembro aí, no Recife, com vocês".

Homero, o filho mais velho de um irmão de Simão, estava preparando suas malas, não havia dúvida. Mas a família Saraiva ainda não tivera coragem de acusar o recebimento da carta. Por enquanto, fazia de conta que nada acontecia.

O problema é que Homero estava vindo de Goiânia, a capital do Estado de Goiás. E Goiânia era notícia todos os dias nas rádios, nos jornais e na televisão. Notícia ruim.

Simão chegava em casa pouco antes de começar o principal jornal da tevê. Dava boa-noite aos filhos, beijava Gertrudes na testa e... olhava demoradamente a carta sobre a mesinha. Olhava como se estivesse hipnotizado. Ou buscando na mente alguma solução.

Ao lado dele, mulher e filhos, mudos, sentados diante do televisor, não perdiam uma única palavra das longas reportagens sobre a contaminação radiativa em Goiânia.

Naquele começo de outubro de 1987, todo o Brasil já conhecia a tragédia que ocorrera na cidade. Um homem que vivia de biscates, Wagner Motta Pereira, achou, num prédio em demolição, um estranho cilindro de metal. Wagner guardou o objeto e resolveu vendê-lo ao dono de um ferro-velho, Devair Alves Ferreira. Devair abriu o cilindro a marretadas. Dentro dele, encontrou uma pequena porção de um pó azul — azul belíssimo, cintilante. Devair olhou, maravilhado. E resolveu mostrar seu achado a outras pessoas conhecidas.

Aí começou a tragédia de Goiânia. Aquele pó era simplesmente um material radiativo, mortal, chamado céσιο-137. A cápsula, com o pó azul dentro, fora abandonada no prédio onde antigamente funcionava o Instituto Goiano de Radioterapia. O céσιο era usado, em geral, para o tratamento de doentes de câncer, porque a radiação, quando utilizada em pequenas doses, e de forma controlada, pode curar. Assim como também mata, se escapar do controle científico.

— Meu Deus!

— Que horror!

— Como é que deixam isso acontecer?!

Toda a família Saraiva comentava, com exclamações assim, os acontecimentos que viam pela televisão. As imagens da cidade de Goiânia e das pessoas atingidas pela radiação deixavam todo mundo com medo de que aquilo pudesse acontecer em suas cidades; e todos se revoltavam com o governo, que não fiscalizara devidamente o tal do Instituto Goiano de Radioterapia. Aquela fonte de radiação jamais poderia estar abandonada dentro de um prédio semidestruído. Os espectadores sentiam que, a qualquer momento, a tragédia poderia se repetir, em qualquer outro lugar, por irresponsabilidade da fiscalização federal.

— Ninguém poderia saber que aquele pó azul, tão bonito, era mortal! — comentava Simão, consternado com o que via.

— É, pai, aqui no Brasil pouca gente sabe o que são fontes radiativas, o que é energia nuclear... — lamentou Gérson.

— Nós duas aqui — disse Gertrudes, apontando para si mesma e a filha Rosália — não entendemos de nada disso...

— Mas todo mundo, a partir de agora, precisa entender de energia nuclear... Até para se defender... — concluiu Simão.



A televisão, agora, mostrava as pessoas que haviam entrado em contato com o pozinho azul sendo levadas para hospitais, em Goiânia ou no Rio de Janeiro. Elas corriam um sério risco de vida, sobretudo as mais atingidas, que seguiam para o Rio. Ali, havia mais recursos para salvá-las.

Boa parte de Goiânia — imaginava-se — podia estar radiativa. Já haviam sido detectadas 243 pessoas contaminadas. Dessas, 42 haviam tido contato direto com o céσιο-137.

— Meu Deus! — exclamou Rosália mais uma vez, diante da televisão.

O Brasil inteiro, agora, tinha medo de Goiânia. E, na cidade, o clima era de pânico. Pessoas que haviam programado viagens para lá, a passeio ou a trabalho, cancelavam as suas passagens. As empresas que haviam encomendado alimentos da cidade também cancelavam suas encomendas. Pelo jeito, pior do que a contaminação do céσιο-137 era o preconceito.

— Se lhe dessem passagem de graça e uma semana de estada num hotel cinco estrelas em Goiânia, você iria, Rosália? — perguntou o irmão Gérson.

E antes que a irmã pudesse falar qualquer coisa, Simão se zangou:

— Pare com isso, rapaz! Você não parece que tem 22 anos...

Na carta, Homero aceitava um antigo convite feito pelos tios para passar um mês de férias no Recife. “Vou passar os dias tomando banho de mar”, dizia ele, que era dois anos mais velho do que Gérson e acabara de se formar em advocacia. A viagem ao Recife era uma espécie de prêmio que Homero se dava, depois de um curso difícil, porque ele também trabalhava.

Na carta, o rapaz não dava muita bola para a situação de Goiânia. O que parecia estranho, pois, pelas lembranças de Simão, Homero morava com os pais bem próximo do centro da cidade. E o centro era um dos locais possivelmente contaminados: as pessoas andavam carregando porções do pó azul por toda aquela região central, além de outros bairros.

“Aqui em Goiânia, como vocês sabem, estão fazendo um escândalo com esse negócio do céσιο-137”, escreveu Homero na carta. “Por isso, também, vai ser muito bom dar o fora daqui, pelo menos por um mês...”

Mas o que se passava pela cabeça dos pernambucanos era: e se Homero estivesse contaminado? E se passasse a sua possível contaminação para eles?

As reportagens sobre a tragédia do céσιο-137 continuavam na tevê. Agora era um repórter de bigodes muito grossos que explicava, didaticamente, como a radiação atinge o organismo de uma pessoa. E os Saraiva ali, perplexos, olhando para o vídeo. E quando um deles tentava se desviar do assunto, os outros reagiam com um “psiuuuu!” autoritário.

— O problema — dizia o repórter bigodudo — é que as células de um organismo atingido por um excesso de radiação se reproduzem de modo desordenado e muito rapidamente. Daí o aparecimento do câncer, depois que as pessoas se expõem à radiação...

Aquela reportagem encerrava a cobertura do caso de Goiânia, naquele dia, no jornal das 8 horas. Simão desligou a tevê e olhou para a mulher e os filhos, com ar sombrio:

— Sabe, gente, vamos ter de resolver esse problema rapidinho... Vamos conversar, vamos ouvir outras pessoas, sei lá... Mas não dá para esperar mais... Homero deve vir daqui a quinze dias...

— Por mim, ele não vem, pai! Se ele chegar aqui, ele entra por uma porta e eu saio pela outra! — falou alto Rosália, misturando susto e irritação na voz.

— Calma, mana — disse Gérson, que sempre lembrava sua condição de filho mais velho, que já havia entrado na chamada maioria. Rosália nem fizera 18, ainda. — Calma, mana! A gente não sabe até onde tudo isso que aparece na televisão é verdade...

— Ora, Gérson... E por que os repórteres iriam mentir? — Rosália ficou mais zangada.

— Você sempre foi tão amiga do Homero, Rosália — lamentou Gertrudes, olhando desconsolada para a filha. — Rosália, você e o Homero, apesar da diferença de idade, sempre se deram tão bem... Você pequenininha, ele tinha a maior paciência com você. Homero saiu do Recife com 15 anos, você tinha só 8 e... Puxa! Como você chorou!

— Pare com isso, mãe! — Rosália falou mais alto. — Quer que eu me sinta culpada, agora? Essa não!

— Não grite com sua mãe! — Simão levantou-se da cadeira de um pulo e, ele sim, gritou, o que era muito raro. Simão sempre foi um sujeito supercontrolado. Mas ele logo se recompôs:

— Desculpe, minha filha... — tocou nos cabelos de Rosália com carinho, porque ela já ameaçava chorar. — Desculpe... estamos todos muito nervosos nesta casa...

— Vocês estão todos pirados! — reagiu Gérson, que era ainda mais calmo que o pai. — Vocês estão brigando dentro de casa! Nunca vi isso antes!

— É mesmo, meu filho... — disse Gertrudes, com sua voz bondosa, mas desanimada. — Eu mesma estou pirada, pirada!

## 2

# O inimigo pode estar ao seu lado. E é invisível

Simão estava acostumado com aquelas reações da filha. Rosália era, na verdade, muito parecida com ele, quando jovem. Por isso, Simão sempre se arrependia quando gritava com ela. Era como se não entendesse a si mesmo... Na adolescência, não havia ninguém mais revoltado e temperamental do que Simão. Por uma espécie de milagre, como dizia sua mãe, dona Ernestina, Simão se transformara no sujeito bom que todos admiravam. Mas não foi milagre nenhum, ele dizia para si mesmo. É que toda aquela energia negativa acabou sendo direcionada para o trabalho. Por isso, também procurava entender melhor sua filha.

“Não sou um bom pai!” falava Simão, mais uma vez, consigo mesmo. “Não posso censurar a menina por estar com medo do primo! Eu... Eu também estou...”

Simão, um grande vendedor, muito bem-posto na vida, era esperto o suficiente para resolver os maiores problemas, mas aquele esbarrava em dificuldades extras, familiares e emocionais. Desde que a carta de Homero chegara, ele falou com o irmão Jonas umas duas vezes, por telefone. E em nenhuma delas teve coragem de tocar no assunto contaminação.

— Estamos aqui esperando o Homero... Estamos... ansiosos que ele chegue... — mentiu Simão para Jonas, no segundo telefonema.

Jonas explicou que o rapaz decidira escrever uma carta porque o convite, assinado por Simão e Gertrudes, também viera por escrito.

— Ele agora é assim... É um advogado com jeito de diplomata... um rapaz muito educado... — Jonas estava orgulhosíssimo do filho.

— Sempre foi um ótimo menino...! — Simão disfarçava muito mal a sua ansiedade.

— Você está com uma voz meio abatida, Simão... Está bem? — Jonas era um bom observador.

— Nada, nada. É uma bruta duma gripe...

— Estimo as melhoras...

E, sobre o céσιο-137, não se falava nada. Que fazer?

Escrever uma outra carta ou telefonar dizendo ao rapaz para não vir? Inventar uma história qualquer e... Simão não teria coragem de fazer nada disso. Jonas, como reagiria? Romperia relações magoado. E poderia até se queixar à dona Ernestina, ainda viva, morando com Jonas e família em Goiânia e sempre muito apegada a certos valores tradicionais, à união da família. Para piorar a situação, Simão lembrou-se de que, no ano passado, Gérson passou um mês inteiro em Goiânia, de férias, e foi tratado com extremo carinho pelos tios.

Como evitar a vinda de Homero? Uma idéia: que tal dizer a Jonas que todos eles, ali, foram convidados para passar um tempo fora do Recife? Não... Seria inútil. Se realmente houvesse um convite desses, a obrigação de Simão era recusá-lo, já que esperava o sobrinho. Depois, quem iria acreditar nisso? E, se acreditassem, o problema seria apenas adiado, pois Homero poderia atrasar um pouco a sua visita:

— Papai, você está aí? Parece fora do mundo... — Gérson chamava o pai, querendo que ele desse início, imediatamente, àquele debate em família: Homero seria ou não bem-vindo?

— É, filho — disse Simão com voz grave —, vamos ter de resolver isso logo... Mas, sinceramente, eu não vejo uma saída... — Pressionou a cabeça com as duas mãos. — Eu procuro! Procuro! E não consigo!

— Não se desespere, meu querido... — preocupou-se Gertrudes. — Eu posso dizer o que é que eu acho?

— Estou doidinha para ouvir, mãe — disse Rosália crítica. — Até agora você tem evitado esse assunto...

Gertrudes fingiu que não ouviu. Rosália gostava mesmo de provocar. Mas Gertrudes falou, com sua voz sempre calma, olhando diretamente nos olhos da filha:

— Se houvesse algum perigo... se Homero estivesse com uma doença qualquer que pudesse passar pra gente... essa tal de radiação... essa coisa que ninguém vê... ele mesmo não viria para cá! Ou então Jonas não o deixaria viajar...

— Ora, mãe! O tio Jonas é um alienado! Nem sabe o que está acontecendo ali no seu nariz, em Goiânia! — Naquela sala, ninguém se surpreendia mais com as respostas de Rosália.

— Mas Homero é uma pessoa consciente! E você, poderia explicar melhor pra gente o que acontece por lá? — perguntou Gérson irônico.

— Bem... — a moça se atrapalhou. — É que... houve um acidente nuclear, quer dizer, um aparelho radiativo ficou exposto...

— É, é mais ou menos isso... — o irmão concordou. Gérson cursava o terceiro ano de administração de empresas e pouco sabia sobre energia nuclear. Mas, nos últimos dias, tentou desesperadamente se informar sobre o assunto. E alguma coisa tinha para contar.

— Pai, mãe, mana... é o seguinte: passei a semana inteira perguntando ao pessoal, na faculdade, sobre essa história de Goiânia...

— Ah, filho... — sorriu Simão. — Eu ia até lhe pedir que fizesse exatamente assim! É bem mais fácil para quem está dentro de uma escola...

— Bem, pai... O primeiro ponto que me parece importante é que, quando a gente fala

de energia nuclear, pensa logo numa usina, em produção de energia...

— É, eu penso nisso... — concordou Simão.

— Pois é. Mas esse caso de Goiânia nada tem a ver com produção de energia nuclear, ou com usinas nucleares. O caso diz respeito, exclusivamente, à aplicação de energia nuclear à medicina. O céσιο-137 que estava dentro da cápsula violada em Goiânia servia para tratamento de câncer. E o acidente ocorreu porque esse elemento, que é altamente radiativo, saiu da cápsula onde estava “preso” e se “soltou” pelo meio ambiente...

— Sabe de uma coisa, filho? — interrompeu Gertrudes. — Essa história toda é difícil para mim, que não tenho muito estudo... Sabe por quê? Porque a gente não vê a tal de radiação...

— Não, mãe, não vê — disse o rapaz. — Mas a gente vê o efeito... É que as pessoas atingidas pela radiação apresentam queimaduras violentas... os pêlos da cabeça caem... e, dentro do organismo, as células se alteram e passam a crescer desordenadamente...

— Como o repórter falou na tevê... — Rosália ouvia com atenção.

— Mas você sabe, filho, como ocorre *exatamente* o tratamento pelo céσιο-137? — Simão era o mais curioso.

— Para matar a célula cancerosa — continuou o rapaz —, o médico faz com que uma certa quantidade de radiação penetre no organismo da pessoa doente. O que entra, na verdade, é uma partícula de energia. Um elétron, por exemplo. Entra e atinge o organismo numa velocidade muito grande. Aí pode provocar várias coisas: destruir a célula cancerosa; destruir a célula sadia; provocar mutações nas células doentes ou sadias; enfim... tudo depende da dose que se recebe.

— Então, meu filho — observou Simão —, o problema de Goiânia é que essa energia nuclear, que se usava especificamente para a medicina, agora está fora de controle e as pessoas foram atingidas, não é isso? — Simão parecia estar à frente das explicações do filho.

— Claro, meu pai. O termo é este: perderam o controle da bomba de céσιο-137...

— Entendi mais ou menos o que você falou, Gérson — disse Rosália. — Mas está todo mundo com medo de ir à Goiânia e de receber gente de lá... Lá mesmo, em Goiânia, os



LEIA MAIS INFORMAÇÕES NAS PÁGINAS SEGUINTEs



hotéis não hospedam as pessoas que tiveram suas casas interditadas porque estavam contaminadas...

— É... É claro que existe muito medo da radiação, mana... Todo mundo tem medo...

— Eu mesma estou morta de medo e não quero ver Homero aqui em casa! — Rosália levantou a voz. — Já pensou como ia ser chato? O cara vem, é primo nosso, e aí a gente fica com medo de chegar perto dele, como se ele fosse um monstro! Que loucura!

— Olhe, Rosália — ponderou Simão —, eu acho que sua mãe está certa: se houvesse algum problema, Jonas não deixaria Homero vir.

— Certamente — completou Gérson — ele já deve ter passado pela medição de radiação... Vocês não viram na tevê? Aqueles homens de branco, parecendo astronautas, com o rosto coberto, para se proteger, e medindo a radiação nas pessoas? Pois é: como Homero mora no centro, numa área atingida, ele já deve ter sido examinado com certeza...

— Eu, hein? — Rosália interrompeu. — Eu tenho medo até de raios X... Aquilo é radiação também, não é? Lá na escola teve um monte de gente que se negou a tirar chapa do pulmão...

— E os raios X são tão perigosos como qualquer outra fonte de radiação... — disse Gérson enfático. — Você pode tirar uma chapa de pulmão de vez em quando, que não há perigo... Mas não pode se expor, o tempo todo, a uma máquina de raios X... Quando a gente vai ao dentista e ele usa os raios X para tirar chapas dos nossos dentes, ele se afasta justamente para não ser atingido... Os dentistas tiram muitas chapas por dia...

— E eu que não sabia nada disso! — Gertrudes se assustou.

— Pois fique sabendo, mãe — continuou Gérson, com um sorriso maroto —, que até televisão emite raios X! De dentro do tubo da televisão vem um elétron que bate na tela, e ela acaba emitindo raios X, que são, na verdade, uma onda eletromagnética... Por isso que o vídeo da tevê é protegido por chumbo... O chumbo absorve a radiação produzida... mas alguma coisa sempre passa...

Rosália e Gertrudes, que costumavam ficar muito tempo diante da televisão, empalideceram na hora.

— Cruz! Credo! Agora ver novela também faz mal? — Gertrudes arregalou os olhos.

— Não, mãe... Eu estava brincando com você... Você só seria atingida se ficasse *anos e anos seguidos* diante de um televisor... Entende?

— Olhem que ela é capaz disso...! — brincou Simão.

Foi a primeira vez, em muitos dias, que todos riram à vontade naquela casa.

### 3

## Estamos todos ameaçados até o ano 3 000?

As informações, observações, preconceitos e maldades chegavam aos ouvidos de Rosália como um rádio ligado no último volume. Ela ficava tonta. Eram os colegas, na sua classe do segundo colegial, ou no recreio.

— O césio-137 “vive” durante *centenas* de anos! Até o ano 3 000 vai ter gente sendo contaminada em Goiânia!

De todas as frases que ouviu dos colegas, esta ficou marcada especialmente. Por isso, a cada dia, a vinda do primo Homero mais parecia um pesadelo. Rosália andou até procurando, na escola, grupos dispostos a acampar, durante a visita de Homero. Mas, novembro era tempo de aulas... Como fugir?

Rosália sentia que, na sua casa, a tendência do pessoal era de receber o primo, sem maiores problemas. Foi então que a moça resolveu procurar um antigo professor de ciências, o dr. Alcebiades. Ela queria saber mais sobre aquela história de a contaminação durar até o ano 3 000.

— Não, não, minha filha... — disse o professor Alcebiades, com sua voz rouca e o seu hálito forte de fumo. — Não, Rosália... Estão transformando a cidade de Goiânia numa espécie de leprosário... quando, na verdade, a cidade está sendo descontaminada...

— O que é descontaminar, professor?

— É tirar o material radiativo, é uma coisa bem prática. É preciso ver onde está esse material radiativo, e há máquinas que descobrem isso, como o contador Geiger... E aí, quando se acha o material, que é o tal do pozinho azul, é preciso guardá-lo num local blindado... blindado com concreto. É só isso.

— Só, professor? — aquilo era mais do que suficiente para assustar.

— Só, mas é complicado. O problema é que, para retirar o material, você não pode mandar meia dúzia de peões, cada um com uma pá, para fazer o serviço. Dependendo do grau de contaminação, é um trabalho que tem de ser feito por robôs, por máquinas, porque o homem não pode se expor à radiação...

— E o pozinho não some? Ele fica por ali? Dá pra gente ver?

— Ele é um pozinho, né? Se caiu na terra, você tem de tirar a camada de terra onde ele está. Mas, aí, imagine se chove... O pozinho desce. É complicado.

Rosália respirou fundo. O professor Alcebiades, ao invés de acalmá-la, como ela pretendia, a estava assustando.

— Mas, professor, que coisa horrível! Então, se esse pozinho se espalhou...

— Menina: como eu já lhe disse, descontaminação é você ir lá, pegar o pozinho, o cézio-137, depois pegar tudo o que entrou em contato com ele, e isolar. Para você ter uma idéia da força da radiação: aconteceu uma tragédia na Argentina, na cidade de La Plata. Um operário que trabalhava em uma obra achou no chão algo parecido com um parafuso. Era uma fonte de cézio-137. Mas o pobre homem se confundiu. E pôs o "parafuso" no bolso direito. Algum tempo depois, trocou-o de bolso. Ficou com ele durante dois dias. Só que aquela fonte radiativa o estava "envenenando", vamos dizer assim...

— Meu Deus! O homem... morreu?

— Pior do que isso, talvez, Rosália... Ele perdeu as duas pernas...

— As duas pernas! — Rosália estava apavorada. — E não senti nada?

— Quase nada. Aquilo não esquenta, não esfria, não dá avisos... Ele só sentiu algumas dores musculares nas pernas... E logo depois foi hospitalizado...

Em pânico, a moça resolveu contar ao professor Alcebiades toda a história do primo de Goiânia. O professor, como sempre, ouviu com muita atenção e, fumando mais um cigarro de palha, disse:

— Olhe, menina: a essa altura, toda a família de seu primo, inclusive *ele* já passou pelas técnicas de detecção de radiação. Todo o pessoal de Goiânia, sobretudo o pessoal que morava próximo ao local do acidente, está sendo examinado. Se houvesse qualquer problema, vocês não só ficariam sabendo, como esses seus parentes não deixariam o rapaz viajar...

— Professor! Foi justamente isso o que mamãe disse... — Rosália respirou.

— Sim, porque é uma opinião de bom senso... Fique tranqüila, minha menina, e receba o seu primo. Receba-o bem, porque ele deve ter vivido uns tempos difíceis em Goiânia, com essa ansiedade, esse medo, essa insegurança...

## 4

# Enfim, Rosália pesa os prós e os contras

Depois daquela conversa com o dr. Alcebiades, Rosália finalmente relaxou. Ele era um homem sério, e todos o respeitavam, sobretudo pela sua lendária franqueza. Dr. Alcebiades não sabia mentir. Dizia sempre o que pensava. E, às vezes, por causa disso, enfrentava os maiores problemas. É que as pessoas nunca estão bem preparadas para enfrentar a verdade.

A franqueza do dr. Alcebiades, por outro lado, era a sua maior virtude. A prova é que, agora, Rosália estava tranqüila. E, a caminho de casa, já decidira, consigo mesma, aceitar a vinda do primo Homero. “O pessoal vai ficar contente”, pensou.

Ao entrar em casa, encontrou os pais e o irmão ao mesmo tempo satisfeitos e preocupados. Parecia que escondiam algum segredo. Olhavam para ela com insistência. O que estaria acontecendo?

— Vocês estão muito esquisitos! — Rosália tinha um estilo de convivência muito direto.

Ninguém respondeu nada. E aí ela anunciou:

— Bem... papai, mamãe, mano: eu tive uma boa conversa com aquele meu velho professor de ciências, vocês lembram?, o dr. Alcebiades... E ele me convenceu de que é bobagem ter medo de Homero, porque...

Não conseguiu acabar a frase. Os três comemoraram como se alguém ali tivesse ganhado na loteria. “Eh, Eh, Eh”, gritavam, com os braços para cima.

— O que... — Rosália estava mais ou menos sorridente. — O que é isso? Ficaram doidos?

— Não, querida — disse Simão, pegando-a pelo braço. — É que acabei de ligar para o Jonas, em Goiânia. Tomamos a decisão, aqui em casa, sem a sua presença. Você não estava entendendo bem a situação, estava com muito medo. Mas nós ligamos e dissemos assim a Jonas: por que Homero não antecipa a sua vinda? Por que não vem *amanhã*?

— Aí você chegou e nós ficamos com medo da sua reação, quando contássemos o que tínhamos feito... — Gérson ainda comemorava a declaração da irmã. Chegou a dançar com ela, rodando pela sala.

— Como é que a gente chegou a pensar mal do Homero, um menino tão bom... — lamentou Gertrudes. — Eu estou envergonhada de ter imaginado que ele poderia trazer alguma coisa de ruim para cá...

— É que as pessoas são assim mesmo, medrosas, mãe... — disse Rosália, que também se sentia aliviada. — Então, vamos receber o primo Homero com uma festinha! — sugeriu.

— Uma festa, não digo... — falou Simão, que não gostava de muito barulho. — Mas... uma peixada...

Rosália tinha uma vaga lembrança do primo, e aquelas histórias de que, aos 8 anos, vivia grudada nele, como Gertrudes gostava de contar, às vezes soava como pura fantasia, ou, no mínimo, como um exagero. A sua memória não acusava uma simpatia tão forte.

Mas foi só Homero aparecer no saguão do aeroporto e sorrir para ela, que boas lembranças tomaram a sua mente, cenas antigas, como no dia em que Homero a levou a um parque de diversões, ao lado de Gérson.

Certos indivíduos têm um dom natural para tratar com as pessoas, e sempre estão cercados delas, onde quer que estejam. Era o caso de Homero. Talvez por causa do sorriso, muito aberto e franco, ou pelos seus modos extremamente gentis.

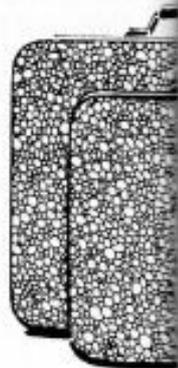
— Será que vocês não estão com medo de mim? — brincou ele, logo após os abraços e as boas-vindas, quando Gertrudes desandou a chorar, emocionada. — Olha que eu estou vindo de Goiânia, a terra do medo!

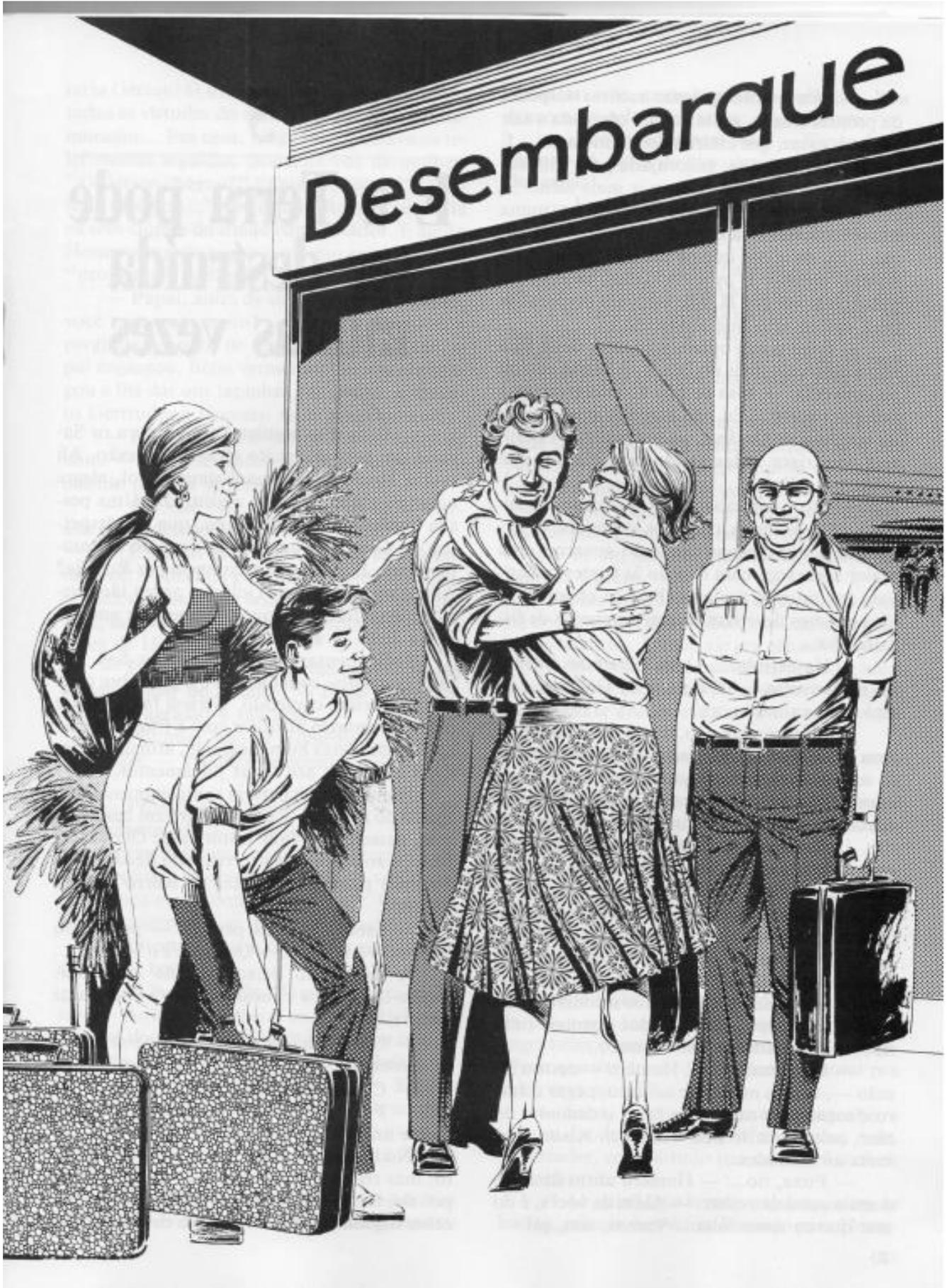
Ele dizia isso e sorria, e assim foi eliminando qualquer resquício de preconceito entre os parentes. Gérson percebeu que o clima de descontração era ideal para que ele matasse a sua própria curiosidade sobre Goiânia e sua tragédia.

— Olhe, primo — disse ele —, nós ficamos muito preocupados com vocês lá... Está sendo muito difícil para os habitantes da cidade, não?

— É um pesadelo! — Dessa vez Homero não sorriu.

— Vocês não podem imaginar... De repente, todo mundo passa a ser suspeito de estar com uma doença contagiosa, e aí todo mundo tem medo de todo mundo... Lá em casa nós fomos dos primeiros a procurar medir uma possível radiação em nós mesmos. Graças a Deus, os testes deram negativo...





# O QUE É RADIATIVIDADE

**E**xistem na Natureza alguns elementos fisicamente instáveis, cujos átomos, ao se desintegrarem, emitem energia sob forma de radiação. Dá-se o nome de **radiatividade** justamente a essa propriedade que tais átomos têm de emitir radiação.

O urânio-235, o cézio-137, o cobalto-60, o tório-232 são exemplos de elementos fisicamente instáveis ou **radiativos**. Eles estão em constante e lenta desintegração, liberando energia através de ondas eletromagnéticas (raios gama) ou partículas subatômicas com altas velocidades (partículas alfa, beta e nêutrons). Esses elementos, portanto, emitem radiação constantemente.

A radiatividade foi descoberta pelos cientistas no final do século passado. Até aquela época predominava a idéia de que os átomos eram as menores partículas de

qualquer matéria e eram semelhantes a esferas sólidas. A descoberta da radiação revelou a existência de partículas menores que o átomo: os prótons e os nêutrons, que compõem o núcleo, e os elétrons, que giram em torno do núcleo. Essas partículas, chamadas de subatômicas, movimentam-se com altíssimas velocidades. Descobriu-se também que os átomos não são todos iguais. O átomo do hidrogênio, por exemplo, o mais simples de todos, possui 1 próton e 1 elétron (e nenhum nêutron). Já o átomo do urânio-235 conta com 92 prótons e 143 nêutrons.

Os elementos radiativos são aqueles fisicamente instáveis, onde há um desequilíbrio na composição de elementos subatômicos e, como consequência disso, uma busca espontânea de equilíbrio através da desintegração ou emissão de energia.

## O lado útil e o lado destrutivo da radiatividade

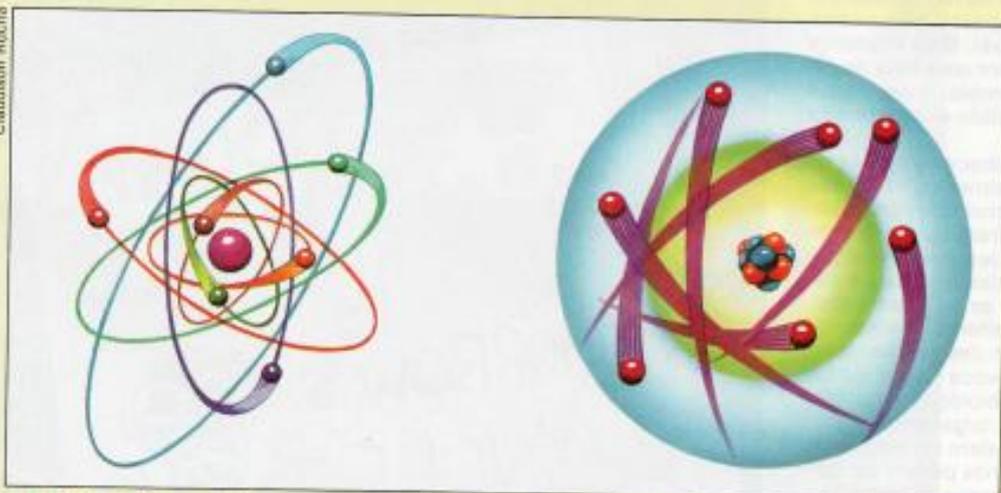
**A** humanidade convive no seu dia-a-dia com a radiatividade, seja através de fontes **naturais** de radiação (os elementos radiativos que existem na superfície da Terra, ou os raios cósmicos que vêm do espaço), seja pelas fontes **artificiais**, criadas pelo próprio homem: o uso de raios X na medicina, as chuvas de partículas radiativas produzidas pelos testes de armas nucleares etc.

Os efeitos da radiatividade no ser humano dependem da quantidade acumulada no organismo e do tipo de radiação. A radiatividade é inofensiva para a vida humana em pequenas doses, mas, se a dose for excessiva, pode provocar lesões no sistema nervoso, no aparelho gastrointestinal, na medula óssea etc., ocasionando por vezes a morte (em poucos dias ou num espaço de dez a quarenta anos, através de leucemia ou outro tipo de câncer).

Existem vários tipos de radiação, sendo que alguns exemplos são: partículas alfa, partículas beta, nêutrons, raios X e raios gama. As partículas alfa, por terem massa e carga elétrica relativamente maior, podem ser facilmente detidas, até mesmo por uma folha de papel; elas em geral não conseguem ultrapassar as camadas externas de células mortas da pele de uma pessoa, sendo assim praticamente inofensivas. Entretanto podem, ocasionalmente, penetrar no organismo através de um ferimento ou por aspiração, provocando, nesse caso, lesões graves.

Já as partículas beta são capazes de penetrar cerca de um centímetro nos tecidos, ocasionando danos à pele, mas não aos órgãos internos, a não ser que sejam engolidas ou aspiradas.

Claudison Rocha

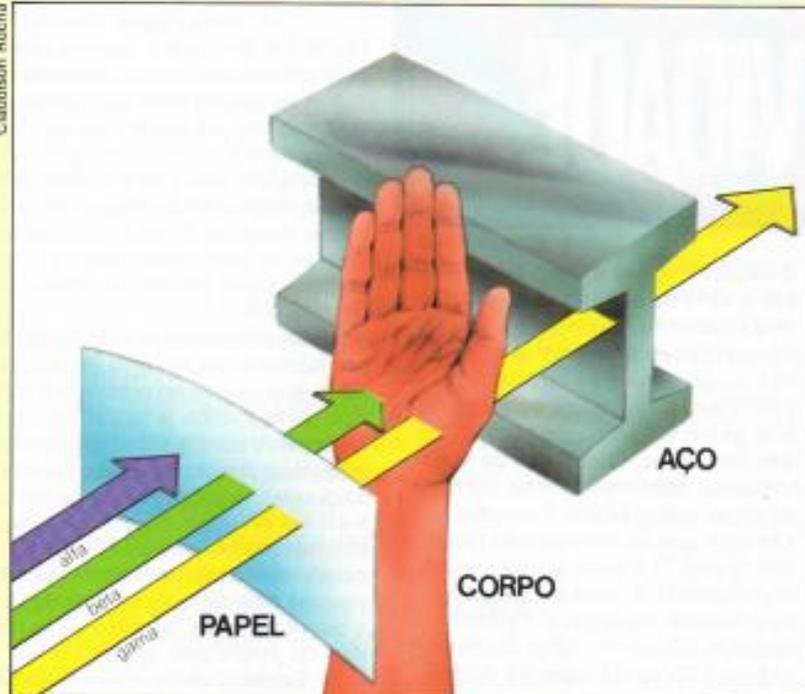


▲ Dois modos possíveis de representar o átomo. À esquerda, um átomo de nitrogênio em duas dimensões. À direita, o mesmo átomo de nitrogênio representado em três dimensões, mostrando os prótons e os nêutrons no núcleo e os elétrons girando em torno.

Os raios gama e os raios X são extremamente penetrantes, podendo atravessar o corpo huma-

no, sendo detidos somente por uma parede grossa de concreto ou metal.

Claudison Rocha



A figura mostra a capacidade de penetração no organismo humano das partículas alfa e beta e dos raios gama.



Modelo de um átomo de urânio-235, elemento fisicamente instável. Nesta foto é possível perceber os elétrons em altas velocidades.

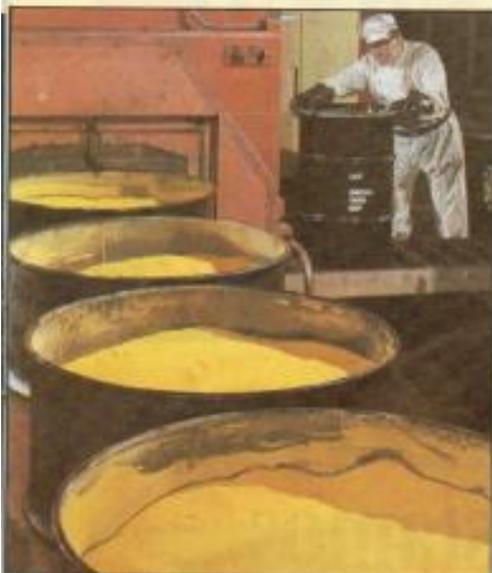
Protesto antinuclear, um ano após o acidente na usina americana de Three Mile Island. O cartaz diz: "Usina nuclear hoje, câncer amanhã".

## Os efeitos da radiação

Se atingido por radiação é algo sutil e impossível de ser percebido imediatamente, já que no momento do impacto não ocorre dor ou lesão visível. Bem diferente de ser atingido por uma bala de revólver, por exemplo, cujo efeito destrutivo é sentido e constatado na hora.

A radiação ataca as células do corpo individualmente, fazendo com que os átomos que compõem essas células sofram alterações em sua estrutura. Eles podem perder elétrons (partículas com carga elétrica negativa) e as ligações químicas podem ser alteradas afetando o funcionamento das células. Isso, por sua vez, provoca com o tempo conseqüências biológicas no funcionamento do organismo como um todo, que podem ser pequenas ou graves. Algumas podem ser percebidas a curto prazo, outras a longo prazo; às vezes somente nos descendentes (filhos, netos) da pessoa que sofreu alguma alteração genética induzida pela radiatividade.





*Urânio-235 sendo processado em uma usina nuclear. Numa das etapas do processo, o urânio é transformado em um pó amarelo chamado yellow cake.*

*A energia nuclear também é aplicada na medicina. Na foto, um avançado aparelho de tomografia cerebral, que utiliza a radiatividade.*



*Sinal dos tempos: em caso de guerra nuclear, o cidadão comum já pode dispor de uma roupa anti contaminação. Fabricada nos Estados Unidos, a vestimenta é barata, durável e eficiente.*

# AS APLICAÇÕES DA RADIATIVIDADE

A partir da descoberta das partículas subatômicas e da radiatividade no final do século XIX, a

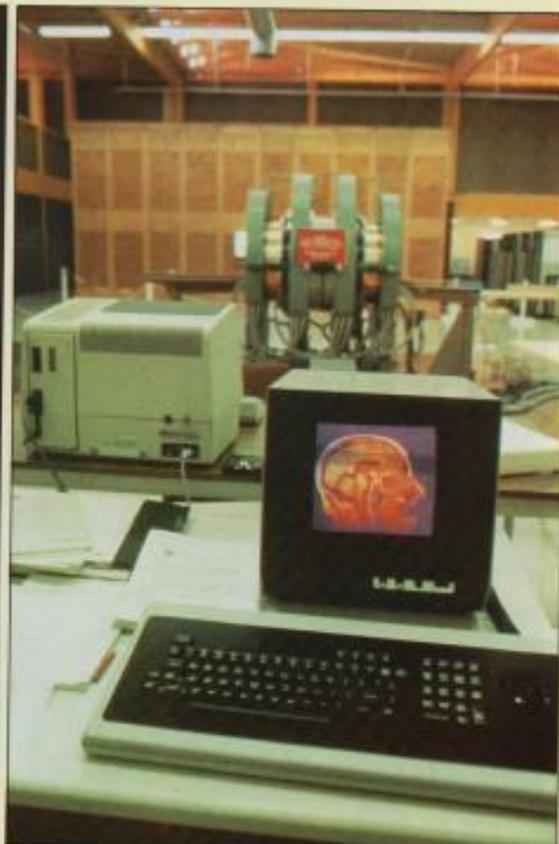
ciência moderna percebeu que inúmeros usos e aplicações poderiam ser criados. O uso mais importan-

te dessa desintegração do átomo é a geração de energia elétrica através de usinas nucleares.

Mas existem também várias outras formas de fazer uso desse fenômeno natural. Algumas utilizações da radiatividade em favor do homem são: aparelhos médico-odontológicos; alterações genéticas em algumas plantas visando aprimorá-las; extermínio por radiação de certos insetos nocivos à agricultura; aparelhos industriais que fazem radiografia ou medem desgaste de peças e mecanismos etc. Há ainda o uso do átomo de forma destrutiva, contra o homem. Trata-se da fabricação de armamentos, como as bombas atômi-



Gamma Sigma



B. Barromes - Gamma Sigma

*Injetando-se uma solução radiativa na veia do paciente, consegue-se um diagnóstico mais preciso de problemas cerebrais neste moderno aparelho médico.*

*Na foto, explosão de uma bomba atômica a nível de teste. A bomba atômica foi usada uma única vez, pelos americanos, contra Hiroshima e Nagasaki, Japão, em 1945.*

Gamma/Sigla



Trippett - Sipak/Keystone



No alto da página: desenho de um míssil nuclear russo. Foto acima: míssil nuclear americano Cruise. Uma vez disparado, o Cruise é capaz de "ler" o terreno por onde voa, graças a um computador.

Míssil americano Pershing-2. Instalada na Europa Ocidental, esta arma intermediária — isto é, com alcance de 1.800 km — contém ogiva nuclear e, quando disparada, pode atingir centros vitais da União Soviética em oito a dez minutos.

cas, de hidrogênio e de nêutrons, os mísseis com ogivas nucleares etc.

## A questão da segurança

A questão da segurança dos aparelhos utilizados na medicina, na indústria, na agricultura deve ser extremamente bem-cuidada, em face do imenso perigo representado pela exposição prolongada do ser humano à radiatividade. Esses aparelhos possuem sempre espessas blindagens, isto é, paredes ou coberturas de materiais que absorvem radiação e impedem sua passagem: chumbo, concreto, aço, parafina ou água. O tipo de material usado depende do aparelho e da espécie de radiação que ele emite.

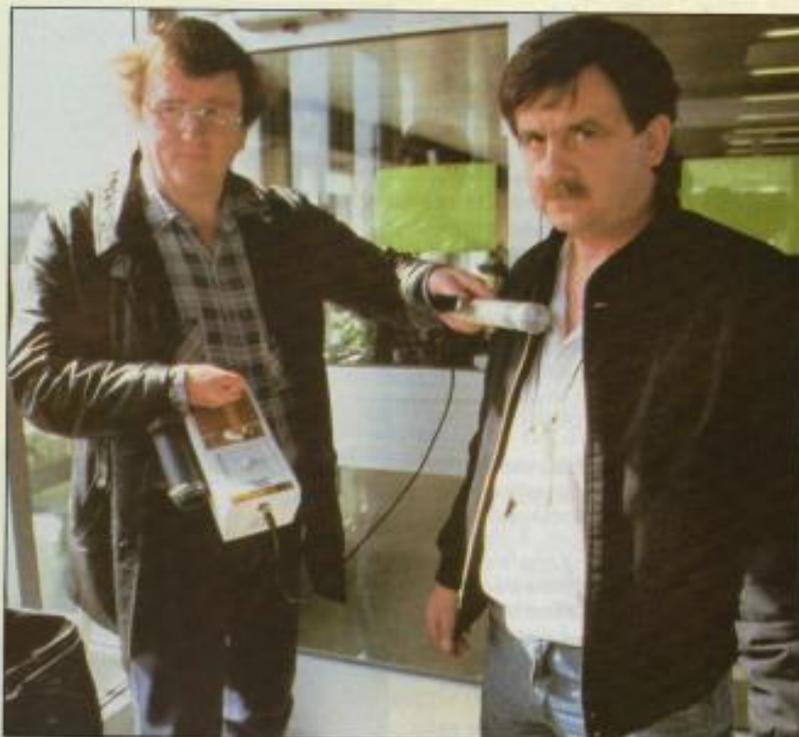
A quebra dessas blindagens que servem de proteção permite que a radiação escape para o meio ambiente. Foi o que aconteceu em Goiânia, em setembro de 1987, com um aparelho de uso médico que continha cerca de 100 gramas



Oxley - Sipak/Keystone

de céscio-137. O aparelho estava abandonado de forma irresponsável em um prédio desocupado, onde anos antes funcionara um Instituto de Radiologia. Esse local foi invadido por algumas pessoas, que acharam o aparelho por acaso e, sem saberem do que se tratava, abriram a sua blindagem a marteladas. Quando o material radiativo — no caso o céscio-137 — que existe nesses aparelhos normalmente sob a forma de pó ou de líquido se espalhou no meio ambiente, ocorreu o que se chama de **contaminação**.

A forma para se medir a contaminação, detectando a presença de elementos radiativos, é feita por meio de aparelhos chamados detectores de radiação, dos quais o mais conhecido é o contador Geiger. A descontaminação de áreas atingidas por excesso de radiatividade envolve o recolhimento de todo o material radiativo e seu armazenamento em blindagens (caixas) que impeçam a passagem da radiação.



Rudd Christensen — Gamma/Sigla



Fredenc Reglain — Gamma/Sigla

O contador Geiger é um aparelho que permite detectar a contaminação por material radiativo. A foto mostra um sueco sendo examinado após o acidente de Chernobil, que contaminou até países escandinavos.

Membros da "Célula Móvel de Proteção Radiológica", organização criada na Europa, em 1980, para prevenir e combater acidentes radiativos em fábricas, hospitais, usinas nucleares etc.

## A meia-vida

**É** importante salientar que os elementos radiativos, quando emitem radiação, se transformam em outros elementos que podem não ser radiativos. Assim, por exemplo, o carbono-14 emite uma radiação beta (elétron) e se transforma em nitrogênio-14, que não é radiativo. Dessa forma, a quantidade de radiação emitida por uma fonte radiativa diminui com o tempo. O tempo que leva para a quantidade de radiação emitida diminuir à metade do seu valor inicial é chamado **meia-vida** e depende do elemento radiativo.

Se a meia-vida do elemento for longa, ele fica muito tempo emitindo radiação. A meia-vida do céσιο-137, por exemplo, é de trinta anos, o que significa que a quantidade de radiação emitida por uma fonte de céσιο-137 cai pela metade após trinta anos. Existem elementos que têm meia-vida da ordem de milésimos de segundo e outros, de milhões de anos.

Portanto, as condições de armazenamento de elementos radiativos devem levar em conta esse fato, ou seja, a blindagem deve durar pelo menos um tempo maior do que a meia-vida do elemento. O armazenamento do lixo radiativo produzido nas centrais nucleares é um problema grave por causa disso.



Sasaki - Sipa/Keystone

Ruddi Christensen - Gamma/Sigla



População da cidade de Goiânia sendo examinada com o auxílio de um contador Geiger, após o acidente com a cápsula de céσιο-137, em 1987, que liberou um alto grau de radiatividade no meio-ambiente.

A foto mostra uma blindagem contendo lixo radiativo, armazenado em um depósito especialmente construído na Suécia e considerado o mais seguro do planeta.