



AS RADIAÇÕES NA MEDICINA: O QUE DIZEM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO?

Radiations in Medicine: what do Physics textbooks of High School say?

André Coelho da Silva [andrecoelho@ifsp.edu.br]

Instituto Federal de São Paulo (IFSP)

Campus Itapetininga

Av. João Olímpio de Oliveira, 1561, Vila Asem, Itapetininga, São Paulo, Brasil

Resumo

Tomando os livros didáticos como suporte privilegiado dos conteúdos educativos, objetivamos compreender de que forma livros didáticos de Física abordam a temática da utilização das radiações na Medicina. Fundamentados em noções de Análise de Discurso, analisamos se e como nove coleções aprovadas pelo PNLD-2018 o fazem em termos: da extensão e dos momentos dedicados ao assunto; da acurácia e do detalhamento conceitual; e das visões sobre as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Em média, cada coleção dedicou menos de duas páginas ao assunto, especialmente nos livros destinados ao 3º ano e em capítulos sobre ondas eletromagnéticas e Física Moderna. Os tópicos mais abordados foram radiografia, radioterapia e Medicina Nuclear. Encontramos imprecisões que acabam dificultando ou até mesmo interditando a possibilidade de produção de sentidos pertinentes do ponto de vista científico em onze trechos. Consideramos também que 28 trechos poderiam ter sido melhor detalhados com o objetivo de possibilitar menor abrangência no espectro de sentidos possíveis e, conseqüentemente, maior esclarecimento aos leitores. De forma geral, os trechos consultados evidenciam uma visão pouco crítica sobre as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, predominando o entendimento da Física como maior promotora do progresso. Por fim, tendo em vista os resultados obtidos, sugerimos tópicos cuja presença nos livros didáticos poderia contribuir junto à formação de cidadãos conscientes e críticos sobre aspectos e problemas contemporâneos.

Palavras-Chave: Radiações; Medicina; Livros Didáticos; Física; Ensino Médio.

Abstract

Taking the textbooks as a privileged support of the educational contents, we aim to understand how Physics textbooks approach the thematic of the use of radiations in Medicine. Based on notions of Discourse Analysis, we analyze whether and how nine collections approved by PNLD-2018 do it in terms of: the extent and the moments dedicated to the subject; the accuracy and conceptual detailing; and the visions about the interrelationships between Science, Technology and Society. On average, each collection devoted less than two pages to the subject, especially in the textbooks for the 3rd year and in chapters on electromagnetic waves and Modern Physics. The topics most covered were radiography, radiotherapy and Nuclear Medicine. We find inaccuracies that end up complicating or even interdicting the possibility of producing scientifically pertinent meanings in eleven parts. We also considered that 28 parts could have been better detailed in order to allow less comprehensiveness in the spectrum of possible meanings and, consequently, more clarification to the readers. In general, the parts consulted reveal an uncritical view on the interrelationships between Science, Technology and Society, with the understanding of Physics as the main promoter of progress. Finally, in view of the results obtained, we suggest topics whose presence in textbooks could contribute to the formation of conscious and critical citizens about contemporary issues and problems.

Keywords: Radiations; Medicine; Textbooks; Physics; High School.

INTRODUÇÃO

Tomamos os livros didáticos de Física destinados ao ensino médio (EM) como os objetos de investigação deste trabalho. Também chamados de livros-texto ou manuais escolares, esses livros costumam se constituir como o principal recurso utilizado em salas de aulas de qualquer nível de ensino, tanto pelos professores quanto pelos estudantes (Schnetzler, 1981; Lajolo, 1996; Santomé, 1998; Wu, 2000; Cordeiro & Peduzzi, 2013; Silva, Braibante, & Pazinato, 2013; Silveira, Gealh, Morales, & Caldeira, 2013). Conforme apontado por Bergmann e Domingui (2015, p. 260):

“O livro didático é um dos recursos mais utilizados pelos professores para preparar suas aulas e pelos alunos para visualizações, pesquisas, leituras e reflexões. Em muitos casos, o livro didático é o único recurso didático a disposição do docente para ser utilizado em sala de aula com seus alunos, além da infraestrutura da sala. Na maioria dos casos, os conteúdos e temas a serem estudados são preparados a partir do livro didático escolhido pelo professor. Dessa forma, ele torna-se uma importante fonte de pesquisa para o docente e para os educandos em formação.”

Segundo Choppin (2004), os livros didáticos podem desempenhar quatro funções essenciais: a função referencial; a função instrumental; a função ideológica/cultural; e a função documental. A primeira diz respeito ao funcionamento do livro como tradução do programa curricular, como “*suporte privilegiado dos conteúdos educativos, o depositário dos conhecimentos, técnicas ou habilidades que um grupo social acredita que seja necessário transmitir às novas gerações*” (Choppin, 2004, p. 553). A segunda implica na consideração de que o livro funciona como maneira de colocar em prática métodos de aprendizagem – por meio da proposição de exercícios e atividades, por exemplo. Quanto à função ideológica/cultural, trata-se da ideia de que o livro funciona como vetor da língua, da cultura e dos valores das classes dominantes, fomentando a construção de identidades. Por fim, a função documental diz respeito à ideia de que o livro possibilita o acesso a um conjunto de documentos (textuais ou icônicos) que podem proporcionar o desenvolvimento do espírito crítico.

Pautados na função referencial desempenhada pelos livros didáticos, neste trabalho, nosso foco se direciona ao estudo de como o uso das radiações na Medicina se faz presente em livros de Física voltados ao EM. De fato, nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) estão presentes elementos que apontam para a relevância em abordar o funcionamento dos aparelhos e exames de diagnóstico médico por imagem nesse nível de ensino:

“O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. Introduzir esses assuntos no ensino médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias etc.), acompanhar a discussão sobre os problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados para o desenvolvimento da informática. [...] Nessa abordagem, uma vez que a maior parte dos fenômenos envolvidos depende da interação da radiação com a matéria, será adequado um duplo enfoque: por um lado, discutindo os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes; por outro, caracterizando as radiações que compõem o espectro eletromagnético, por suas diferentes formas de interagir com a matéria. [...] A compreensão desses aspectos pode propiciar, ainda, um novo olhar sobre o impacto da tecnologia nas formas de vida contemporâneas, além de introduzir novos elementos para uma discussão consciente da relação entre ética e ciência.” (MEC, 2002, p. 77).

Já na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) da Educação Básica (Ensinos Fundamental e Médio), homologada em dezembro de 2018, em diversos trechos encontramos menções ao uso das radiações na área médica. No componente curricular Ciências do Ensino Fundamental, entre os objetos de conhecimento para o 9º ano está “*Radiações e suas aplicações na saúde*” (MEC, 2018, p. 350). Constam como habilidades a serem desenvolvidas pelos estudantes: “*Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.*” e “*Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ultrassom, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a laser, infravermelho, ultravioleta etc.)*.”

(MEC, 2018, p. 351). Similarmente, na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do EM, entre as habilidades previstas está “*Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.*” (MEC, 2018, p. 555).

Vale ressaltar que aspectos do funcionamento de muitos dos aparelhos médicos utilizados para o diagnóstico e o tratamento de problemas de saúde têm relação com conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), especialmente no escopo das radiações. Há que se lembrar ainda, que a inserção da FMC no EM e a respectiva necessidade de abordagem sistemática na formação inicial de professores já foram justificadas por trabalhos como os de Terrazan (1992), Cuppari, Rinaudo, Robutti e Violino (1997), Valadares e Moreira (1998), Ostermann e Cavalcanti (1999), Pinto e Zanetic (1999), Machado e Nardi (2007), Guerra, Braga e Reis (2007), Pena (2007), Silva e Almeida (2011), entre muitos outros, repercutindo em diretrizes oficiais da educação brasileira e na estruturação dos livros didáticos. Entre as justificativas mais recorrentes está a que enfatiza a forte relação existente entre os desenvolvimentos contemporâneos da Física e da Tecnologia.

Conforme já anunciamos, o objetivo deste trabalho é compreender de que forma livros didáticos de Física abordam a temática da utilização das radiações na Medicina. Para isso, embasados em fontes especializadas sobre as radiações e seu uso na área médica¹, em Martins (2006), em noções sobre as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e em obras de Eni Orlandi (1987, 1997, 2000, 2001, 2008), analisamos se e como os livros didáticos de Física aprovados no PNLD 2018 relacionam as radiações a elementos associados à área médica. Trata-se, portanto, de analisar se e como livros didáticos de Física contextualizaram o tema radiações por meio de seu uso na Medicina.

Na seção seguinte, efetuamos alguns apontamentos sobre os livros didáticos e o PNLD, discutindo também de que forma a literatura da área de ensino têm justificado, proposto e desenvolvido experiências didáticas associadas à utilização das radiações na Medicina no âmbito do ensino básico. Em seguida, explicitamos quais foram os livros analisados e as bases teórico-metodológicas que adotamos para efetuar as análises. Por fim, apresentamos e problematizamos os resultados obtidos, indicando potencialidades, limitações e perspectivas para a continuidade deste trabalho.

SOBRE OS LIVROS DIDÁTICOS E O ENSINO DAS RADIAÇÕES NA MEDICINA

De acordo com Martins (2006), a relevância dos livros didáticos no âmbito educacional se relaciona à interferência que historicamente possuem sobre as práticas inerentes à escola e ao ensino escolar. De fato, a própria Constituição Federal de 1988, no Inciso VII do artigo 208, sinaliza a relevância dos livros didáticos ao indicar que o dever do Estado com a educação será efetivado mediante a garantia de “*atendimento ao educando, em todas as etapas da educação básica, por meio de programas suplementares de material didático-escolar, transporte, alimentação e assistência à saúde*” (Constituição da República Federativa do Brasil, 1988).

De forma mais específica, Bergmann e Domingui (2015) apontam que, no Brasil, a atenção aos livros didáticos teve início com o Decreto-Lei 1.006 de 30 de dezembro de 1938, assinado pelo então presidente Getúlio Vargas e por seu ministro da educação Gustavo Capanema. Em seu preâmbulo, mais especificamente na ementa, explicita-se que se trata de uma lei que “*estabelece as condições de produção, importação e utilização do livro didático*” (Decreto-Lei n. 1.006, 1938). Por outro lado, enquanto objeto sistemático de pesquisa, os livros didáticos teriam ganhado espaço apenas na década de 1970 (Garcia, 2017). Desde então, pesquisadores têm se debruçado sobre questões relacionadas aos possíveis papéis dos livros didáticos, a suas visões epistemológicas, à presença de erros conceituais e/ou historiográficos, à utilização de imagens e analogias, à presença e à maneira como determinados tópicos são abordados, entre outras.

Ainda que a quantidade de pesquisas associadas aos livros didáticos tenha aumentado ao longo do tempo, concordamos que:

¹ Bilaniuk e Bilaniuk (1984); Bonagamba, Capelle e Azevedo (2005); Chazan (2003); CNEN (2014); Corneliussen (2014); Ferreira (2013); Johansson, Nilsson e Tegner (2006); Keevil (2001); Lima, Afonso e Pimentel (2009); Martins (1990); Martins (1997); Martins (1998); Martins (2003); Martins (2004); Michael (2001); Navarro, Leite, Alexandrino e Costa (2008); Okuno (1988); Okuno (2013); Okuno e Yoshimura (2010); Ortega (2006); Osei e Darko (2013); Redberg e Smith-Bindman (2014); Robilotta (2006); Schmidt (1973); Sienkiewicz (2003); Van Gelderen (2004).

“[...] é razoável se pensar que a distribuição universalizada de livros didáticos para os alunos do Ensino Médio, ocorrida na última década, deve ter trazido para o interior das salas de aula uma série de situações que, por serem recentes, ainda necessitam ser estudadas, tendo em vista que na maior parte das escolas públicas, anteriormente, eram raras as situações em que os alunos possuíam livros didáticos.” (Garcia, 2012, p. 146)

Desde o final da década de 1930, diversos programas voltados à distribuição de livros didáticos com diferentes nomenclaturas foram implantados no Brasil. Podemos afirmar que o marco inicial dessa política foi a criação do Instituto Nacional do Livro, em 1937 (MEC, 2017). Atualmente, essas ações se dão no escopo do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), criado em 1985. A partir de 1996 os livros inscritos no PNLD passaram a ser avaliados pedagogicamente. Após a avaliação, o MEC publica o Guia dos Livros Didáticos, indicando que livros estão aptos a serem escolhidos pelos professores das escolas públicas brasileiras (MEC, 2017).

Inicialmente, o PNLD englobava apenas livros didáticos voltados ao Ensino Fundamental, o que foi alterado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) com a publicação da Resolução nº 38 de 15 de outubro de 2003, que instituiu o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (MEC, 2017).

O processo de escolha dos livros didáticos de uma determinada disciplina escolar pode ser resumindo da seguinte forma:

“[...] a cada três anos, mediante edital, as editoras submetem as coleções à avaliação, realizada por comissões constituídas pelo MEC. As coleções aprovadas são então descritas no Guia do Livro Didático que é distribuído às escolas para a realização da escolha das obras que serão adotadas por cada uma.” (Schirmer & Sauerwein, 2017, p. 25)

Schirmer e Sauerwein (2017) argumentam que a ampliação da distribuição de livros didáticos às escolas foi acompanhada de um aumento no interesse em pesquisar aspectos associados a eles. Destacam também problemas relacionados ao PNLD, tais como o desconhecimento dos professores a respeito do Guia do Livro Didático, a preferência dos professores em manusear os livros ao invés de ler o Guia, a influência das grandes editoras no processo de seleção por meio da adoção de estratégias de marketing junto aos professores, a escassez de tempo para que os professores façam escolhas bem fundamentadas, entre outros.

Especificamente sobre os livros didáticos de Física, Moreira (2000) e Chiquetto e Krapas (2012) sinalizam suas relevâncias no que diz respeito à naturalização de práticas costumeiramente adotadas nas aulas dessa disciplina, tais como a excessiva matematização, o foco na resolução de exercícios mnemônicos e a ausência de contextualização. Em outras palavras: como tradicionalmente os livros didáticos de Física são estruturados com base nesse ideário, parte considerável dos professores dessa disciplina têm pautado suas aulas nessa direção. Até porque, como apontado por diversos pesquisadores, a tendência é ensinarmos da maneira como fomos ensinados – o chamado “efeito espelho” (Zimmerman & Bertani, 2003; Quadros *et al.*, 2005; Borges, 2006; Langhi & Nardi, 2012). Há que se pontuar, por outro lado, que as avaliações realizadas no âmbito do PNLD-Física têm procurado valorizar não somente a correção conceitual dos livros didáticos, mas também questões como a contextualização dos tópicos com elementos do cotidiano, a presença de sugestões de atividades práticas, a presença de aspectos da História, Filosofia e Sociologia da Ciência, entre outras. Nesse sentido, os discursos produzidos pelos pesquisadores da área de ensino de Física/Ciências parecem estar repercutindo nos editais públicos do PNLD. Além disso, conforme ressaltado por Moreira e Martins (2015), pesquisadores dessa área têm participado efetivamente da avaliação das obras inscritas no processo seletivo.

Assumindo que trabalhos desenvolvidos por pesquisadores da área têm repercutido nos editais no PNLD e, consequentemente, no conteúdo/forma dos livros didáticos, realizamos um levantamento bibliográfico em alguns dos principais periódicos nacionais e internacionais da área de Ensino de Física/Ciências² a fim de identificar o que tem sido investigado e quais são as conclusões alcançadas no contexto de experiências didáticas que relacionam as radiações a aspectos da Medicina.

² Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia; American Journal of Physics; Caderno Brasileiro de Ensino de Física; Ciência & Educação; Ciência & Ensino; Ciência em Tela; Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências; Enseñanza de las Ciencias; 225

Gibson, Cook e Newing (2006) e Paiva (2016) sugeriram elementos de Física Médica para serem trabalhados no EM. Tratar-se-ia de tópicos que poderiam auxiliar na abordagem de assuntos como energia, mecânica e radioatividade. A presença da Medicina na mídia, a possibilidade de agregar experiências vivenciadas pelos estudantes e seus familiares e a possibilidade de maximizar o engajamento dos estudantes foram apontadas como justificativas.

Ronen e Ganiel (1988), Ronen e Ganiel (1989a, 1989b) e Medeiros e Lobato (2010) analisaram experiências didáticas desenvolvidas com alunos do EM. De forma geral, notaram que a discussão de aspectos de Física Médica foi avaliada pelos estudantes como interessante e agregadora de informações – posto que, até então, era ocupado pela mídia. Além disso, ela teria proporcionado a compreensão de noções e conceitos científicos, bem como o esclarecimento sobre possíveis benefícios e malefícios das radiações.

Também encontramos na literatura revisada um trabalho que identificou concepções prévias de estudantes no que diz respeito às relações entre as radiações e a Medicina: Rego e Peralta (2006). Por meio de um questionário, entre outras coisas, os autores concluíram que boa parte dos estudantes: não compreende a distinção entre radiação ionizante e não-ionizante; não reconhece as ondas eletromagnéticas como radiação; não reconhece outras fontes naturais de radiação além do Sol; não tem muito conhecimento sobre os efeitos da radiação sobre os tecidos e os seres vivos; desconhece ou se equivoca sobre a dependência dos riscos em relação ao tipo de radiação; desconhece a diferença entre as doses de radiação recebidas em exames de diagnóstico e em terapias; tem pouco conhecimento sobre as diferenças entre os tipos de radiação.

Nos periódicos revisados não encontramos nenhum trabalho que tivesse analisado como livros didáticos voltados ao ensino básico abordam as inter-relações entre as radiações e a Medicina. Encontramos trabalhos desse tipo apenas no âmbito de eventos científicos nacionais como o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) e o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF).

Silva e Pereira (2011) analisaram como três livros didáticos do nono ano recomendados pelo PNLD abordavam as radiações ionizantes. A análise deu origem a 23 fichas, cada uma associada a um capítulo que apresentava conceito(s) relacionado(s) à temática. Embora esse alto número de menções indique que os autores dos livros didáticos analisados valorizam o tema, ela indicaria também grande fragmentação do assunto - e sem que sejam estabelecidos diálogos entre as partes. Foram notadas também falta de fundamentação, de interdisciplinaridade e de rigor científico. Nenhum capítulo abordou especificamente o tema. Os autores sugeriram que seja feito o agrupamento dos assuntos relacionados à radiação ionizante em um único capítulo.

Miquelin, Freitas, Miquelin e França (2012) analisaram se e como conteúdos de radiologia são abordados em uma coleção de livros didáticos de Química e em quatro coleções de livros didáticos de Física. Os conteúdos de radiologia analisados foram raios X, radioatividade e tomografia computadorizada. Quanto às coleções de Física, elementos relacionados à radiologia apareceriam apenas nos terceiros volumes, quando são abordadas as ondas eletromagnéticas. Todas as coleções abordaram o tema radioatividade. O tema raios X foi abordado pela coleção de Química e por duas das quatro coleções de Física. O tema tomografia foi abordado apenas pela coleção de Química. Apesar de não terem sido encontradas imprecisões científicas, em alguns casos, explicações foram feitas de maneira confusa e termos errôneos como “chapa” (ao invés de radiografia) foram utilizados. Segundo os autores, os conteúdos de radiologia foram apresentados nos livros didáticos de maneira informativa e ilustrativa, apenas como forma de justificar o estudo dos tópicos científicos.

Portanto, em síntese, a literatura revisada destaca: as potencialidades de abordar no ensino básico o uso das radiações na Medicina, especialmente no que se refere a fomentar a motivação dos estudantes e a possibilitar a compreensão de noções científicas; o desconhecimento e os equívocos dos estudantes no que se refere a suas concepções prévias sobre as radiações, seus tipos e os riscos associados; e a maneira fragmentada e meramente ilustrativa pela qual o tema se faz presente em livros didáticos.

EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO E LIVROS ANALISADOS

Do ponto de vista teórico-metodológico, assumimos que o livro didático é um artefato cultural, ou seja, um material produzido tendo em vista a história e as práticas sociais (Martins, 2006). Consideramos também que:

“O texto do livro didático não é a simples adaptação do texto científico para efeito do ensino escolar, exclusivamente por meio de transposições didáticas de conteúdos de referência. Ele reflete as complexas relações entre ciências, cultura e sociedade no contexto da formação de cidadãos e se constitui a partir de interações situadas em práticas sociais típicas do ensino na escola. Nesse sentido, ele representa uma instância articuladora de diferentes vozes e horizontes sociais e conceituais, constituindo e materializando o discurso científico-escolar, ou o discurso sobre ciência na escola.” (Martins, 2006, p. 125).

Logo, os livros didáticos recontextualizam discursos como o científico, o midiático, o cotidiano, o pedagógico e o legal, incorporando em um texto estruturalmente complexo, explícita ou implicitamente, textos originais de cientistas, textos de divulgação científica, matérias jornalísticas, recomendações curriculares, recomendações de pesquisadores, entre outros (Martins, 2006).

Pautados em noções da Análise de Discurso (AD) conforme divulgada e desenvolvida por Eni Orlandi, assumimos que a relação da linguagem com a exterioridade é fundamental para a constituição do sentido. A exterioridade, enquanto constitutiva do processo de produção de sentidos, engloba o contexto imediato onde ocorre a manifestação da linguagem, os interlocutores envolvidos e o contexto sócio-histórico associado. Tais elementos compõem as chamadas condições de produção do discurso e é a relação entre elas e a linguagem que produzirá sentidos por meio de mecanismos que a AD visa compreender (Orlandi, 1987).

Entre os fatores que intervêm junto às condições de produção do discurso podemos destacar o mecanismo de antecipação. Trata-se de um mecanismo discursivo utilizado por quem faz uso da linguagem e diz respeito a projetar-se no lugar do outro visando antecipar os sentidos que suas palavras produziram. Ou seja: o dizer do locutor também é constituído pela suposição ainda que inconsciente que faz a respeito de o que seu interlocutor irá pensar. Por meio do mecanismo de antecipação tentamos fazer com que os outros nos interpretem da maneira como gostaríamos. Essa noção se relaciona à de leitor virtual: segundo Orlandi (2000), na escrita de um texto o autor inscreve um leitor virtual, antecipando o leitor real para quem se dirigirá. Logo, quando o leitor real lê, ele não está interagindo com o próprio texto, mas sim com o leitor virtual que nele fora inscrito:

“[...] Não se pode falar do lugar do outro; no entanto, pelo mecanismo de antecipação, o sujeito-autor projeta-se imaginariamente no lugar em que o outro o espera com sua escuta e, assim, ‘guiado’ por esse imaginário, constitui, na textualidade, um leitor virtual que lhe corresponde, como um seu duplo. Esse é um jogo dos gestos de interpretação que se dá na ou a partir da materialidade mesma do texto e ao qual o analista deve ser sensível quando pensa o imaginário que constitui o sujeito leitor virtual e o sujeito leitor efetivo com suas determinações concretas.” (Orlandi, 2001, p. 61)

Para a AD, por conta das condições de produção, o sentido sempre pode ser outro, ou seja: as condições de produção possibilitam múltiplos sentidos. Em contrapartida, são também as condições de produção que restringem o espectro de sentidos possíveis: eles não podem ser quaisquer um.

Outra noção associada às condições de produção de sentidos é a de silêncio, afinal, “o silêncio é preche de sentidos” (Orlandi, 2008). Tanto os “ditos” quanto os “não-ditos” significam, isto é, ambos podem direcionar a produção de sentidos. Quando dizemos algo, interditamos outras possibilidades que eram possíveis quando havia silêncio. Se falamos “há um carro na garagem”, interdita-se a opção de imaginar uma garagem vazia. Já ao não explicitarmos a cor desse carro, por exemplo, torna-se possível imaginar um carro branco, um carro preto, um carro vermelho etc. Se falássemos “há um carro vermelho na garagem”, automaticamente interditaríamos as outras possibilidades. Logo, as escolhas de palavras e frases acabam silenciando outras palavras e frases e interditando sentidos que até então eram possíveis. Conforme Orlandi (1997, p. 29): “A linguagem estabiliza o movimento dos sentidos. No silêncio, ao contrário, sentido e sujeito se movem largamente.” Ou seja: o silêncio sobre algum assunto amplia o espectro de sentidos possibilitado a quem o está interpretando.

Ao afirmarmos algo estamos dificultando e até mesmo interditando a possibilidade de produção de outros sentidos. Similarmente, a presença de determinada informação em um livro didático, estando ela correta ou não, tende a interditar a produção de sentidos incoerentes com essa informação. Dessa forma, a produção de sentidos que guardam coerência com aqueles que são aceitos pela ciência pode ser prejudicada caso haja informações incorretas nos livros – item que foi alvo de nossas análises. Paralelamente a isso, pautados na ideia de que os “não-ditos” acabam possibilitando sentidos que poderiam ser interditados (tentativamente) por meio do uso de palavras ou frases, a partir de indícios obtidos na materialidade dos livros, procuramos analisar de que forma certos espaços deixados pelo silêncio poderiam ser preenchidos a fim de tentar evitar a produção de sentidos que fugissem dos que guardam coerência com aqueles que são aceitos pela ciência no escopo do uso das radiações na Medicina. Em conjunto, os dois itens que acabamos de mencionar compõem o foco de análise que denominamos **acurácia e detalhamento conceitual**. De fato, segundo Martins (2006), juntamente com as avaliações dos livros realizadas de forma oficial, trabalhos desenvolvidos por pesquisadores do campo educacional, ao apontarem equívocos e/ou imprecisões conceituais, têm contribuído para o aperfeiçoamento desses materiais.

Apropriamo-nos também da ideia de que, além de estabelecer inter-relações com a Ciência, a Tecnologia também as estabelece com a Sociedade. Em outras palavras: ao mesmo tempo que interfere na Sociedade, a Tecnologia também é moldada por fatores sociais, econômicos e políticos: tanto a Ciência quanto a Tecnologia não são neutras (Vargas, 2003; Winner, 1986). Dessa forma, uma visão crítica acerca das inter-relações entre Tecnologia e Sociedade implica em considerar que o desenvolvimento de novos artefatos tecnológicos pode não ter como consequência efeitos que podem ser considerados positivos ao bem comum. Há sempre interesses em jogo. Se, por um lado, o desenvolvimento de determinado artefato tecnológico pode propiciar maior conforto, facilidade ou até mesmo um auxílio mais eficiente no diagnóstico de problemas de saúde; por outro lado, ele também pode alimentar o chamado “consumismo”, favorecer o consumo insustentável de recursos naturais, acentuar os efeitos das desigualdades socioeconômicas e causar danos à saúde humana, aos animais e ao meio ambiente como um todo. Pode-se dizer ainda que apenas as classes mais favorecidas economicamente têm acesso aos artefatos tecnológicos de última geração, afinal, em nossa sociedade, o acesso a eles se massifica apenas quando já não são os mais modernos disponíveis.

Já no que se refere às possíveis relações entre Ciência e Tecnologia, Gardner (1999) distinguiu quatro posturas: idealista (Tecnologia como aplicação da Ciência) – visão culturalmente predominante; demarcacionista (Ciência e Tecnologia como campos totalmente separados); materialista (Tecnologia como precursora necessária à Ciência); e interacionista (Ciência e Tecnologia trabalhando e aprendendo uma com a outra). Segundo a perspectiva interacionista – a que nos parece a mais adequada no contexto contemporâneo -, da mesma forma que um artefato tecnológico pode ser desenvolvido com a ajuda de conhecimentos científicos, pesquisas científicas também podem ser auxiliadas por artefatos e soluções tecnológicas (Vargas, 2003).

Tendo em vista essas discussões, outro de nossos focos de análise foi avaliar de que forma os trechos dos livros que abordam o uso das radiações na área médica enxergam as **inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade**.

Um terceiro foco de análise se refere à **extensão** com a qual cada coleção aborda o uso das radiações na Medicina. Nesse sentido, descrevemos o número de páginas destinado ao assunto em cada coleção, em que momentos essa abordagem é feita (séries, capítulos e seções) e quais artefatos/exames/procedimentos médicos são abordados.

O Quadro 1, a seguir, explicita quais foram as coleções de livros didáticos de Física para o EM analisadas.

A escolha das coleções levou em conta suas aprovações no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD-2018) e a possibilidade de acesso que tivemos a elas. Além disso, como foram aprovadas doze coleções, consideramos que a análise de nove delas (75%) representa uma boa amostragem – ainda que cada coleção possua suas especificidades.

Por fim, há que se explicitar que as consultas em busca de partes em que o uso das radiações na área médica é abordado (e não apenas mencionado) foram feitas nos três volumes de cada coleção. Não foram consultados materiais complementares.

Quadro 1 – Coleções de Física analisadas.

Identificador	Título da Coleção	Autores	Editora
A	Compreendendo a Física	Alberto Gaspar	Ática
B	Conexões com a Física	Blaidi Sant'Anna Glorinha Martini Hugo Carneiro Reis Walter Spinelli	Moderna
C	Física	José Roberto Piqueira Oswaldo Guimarães Wilson Carron	Ática
D	Física	Clinton Marcio Ramos Eduardo de Pinho Prado José Roberto Bonjorno Mariza Azzolini Bonjorno Regia de Fátima S. A. Bonjorno Renato Casemiro Valter Bonjorno	FTD
E	Física	Gualter José Biscuola Newton Villas Bôas Ricardo Helou Doca	Saraiva Educação
F	Física – Ciência e Tecnologia	Carlos Magno A. Torres Nicolau Gilberto Ferraro Paulo Antonio de T. Soares Paulo Cesar Martins Penteado	Moderna
G	Física aula por aula	Benigno Barreto Filho Claudio Xavier da Silva	FTD
H	Física: contexto e aplicações	Antônio Máximo R. da Luz Beatriz Alvarenga Álvares Carla da Costa Guimarães	Scipione
I	Física: Interação e Tecnologia	Aurélio Gonçalves Filho Carlos Toscano	Leya

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como nosso objetivo é compreender de que forma livros didáticos de Física abordam a temática da utilização das radiações na Medicina, optamos por apresentar os resultados separados por cada foco de análise e não por cada coleção. Em outras palavras: nosso intuito não foi analisar a qualidade de cada uma delas individualmente, mas sim, esboçar um panorama geral.

Extensão

No que se refere ao número de páginas destinado à abordagem das radiações no contexto da Medicina, somados os trechos encontrados nos três volumes, notamos que, em média, as coleções dedicam menos de duas páginas para a discussão dessa temática. Em uma delas não encontramos nenhum trecho sobre o assunto (coleção E). Já em outras três, encontramos trechos que, quando somados, totalizam entre três e quatro páginas por coleção. Dada a relevância do tema e o fato de que o total de páginas por coleção é de cerca de oitocentas, consideramos pequeno o espaço destinado a ele nos materiais analisados.

Quanto aos momentos em que o uso das radiações na Medicina é abordado, notamos que em 100% dos oito livros em que isso ocorre, essa abordagem se faz presente no terceiro volume das coleções, isto é, no livro destinado ao 3º ano do EM. Em quatro dessas oito coleções se trata do único momento em que isso ocorre. Já nas outras quatro, em três a temática também se faz presente nos primeiros volumes e em uma no segundo volume, corroborando a fragmentação apontada por Silva e Pereira (2011).

Em termos de capítulos, em seis coleções ele está presente em capítulos sobre ondas eletromagnéticas; em cinco, em capítulos relacionados à FMC (“Radioatividade”, “Física Nuclear” etc.); em dois, em capítulos sobre energia; e também em dois, em capítulos introdutórios sobre “o que é Física”.

Na maioria das vezes, os assuntos são tratados no corpo principal do texto, mas ocorre, em diversos casos, a utilização de caixas de texto independentes (*boxes*). De forma geral, esses *boxes* funcionam como seções que procuram complementar os assuntos tratados no corpo principal do texto, conforme indicado por suas nomenclaturas: “Pensando as Ciências”, “Aplicação Tecnológica”, “Pense Além”, “Aplicações da Física” e “Algo A+”. Tais recursos podem ser pensados como forma de destacar determinados textos e informações, atraindo os leitores. Por outro lado, podem acabar sendo entendidos como meros apêndices, como curiosidades que poderiam ser deixadas de lado (o que realmente importaria estaria explícito no corpo principal do texto).

Por fim, em relação aos elementos associados à Medicina que se fazem presentes nas coleções consultadas, notamos que: seis abordam a radiografia; seis abordam a radioterapia; seis tratam de procedimentos de Medicina Nuclear (mapeamento por radioisótopos, tomografia por emissão de pósitrons etc.); três abordam a tomografia computadorizada; três comentam sobre riscos associados à exposição à radiação ionizante; e dois abordam a ressonância magnética.

Acurácia e detalhamento conceitual

Encontramos imprecisões em alguns trechos das coleções analisadas, totalizando onze equívocos.

Dois deles dizem respeito à utilização de expressões e/ou nomenclaturas impertinentes (grifos nossos):

*“As **ondas magnéticas** de frequência superior às dos raios X recebem o nome de raios gama.” (Coleção D, volume 3, p. 195)*

*“Essa foi a primeira **chapa** de raios X [...]”. (Coleção G, volume 3, p. 192)*

No primeiro trecho a expressão correta seria “ondas eletromagnéticas”, afinal trata-se de ondas que possuem tanto componente elétrica quanto componente magnética. Já no segundo trecho, conforme apontado por Miquelin *et al.* (2012), o termo correto seria “radiografia” ao invés de “chapa de raios X”.

Quatro imprecisões foram registradas no escopo da temática riscos associados à exposição à radiação ionizante (grifos nossos):

*“Quando possível, as radiografias devem ser substituídas por outros mecanismos de diagnóstico, como o ultrassom, que é **inofensivo** para o ser humano.” (Coleção C, volume 3, p. 176)*

*“[Sobre a tomografia computadorizada] Com **a mesma dosagem** de radiação de uma radiografia convencional, essa técnica permite a obtenção de vários planos radiográficos [...]”. (Coleção C, volume 3, p. 176)*

*“[Sobre raios gama] [...] não são absorvidos pela maioria das substâncias, mas, quando o são por seres vivos, **produzem efeitos** bastante danosos.”. (Coleção D, volume 3, p. 195)*

*“Sob condições controladas, os raios gama podem destruir células cancerosas, **mas**, sem controle, podem provocar o câncer”. (Coleção F, volume 3, p. 137)*

No primeiro trecho, afirma-se que o exame por ultrassom (ultrassonografia) é inofensivo. Entretanto, como evidenciado por Abramowicz (2013), Hershkovitz, Sheiner e Mazor (2002), Rodríguez e Terris (2000), entre outros, a ultrassonografia não é desprovida de riscos como costumamos acreditar. De fato, ela possui menor risco quando comparada a exames que se utilizam de radiações ionizantes - como é o caso da radiografia. Isso não a faz, contudo, inofensiva. Portanto, a forma/conteúdo do trecho atua em prol do silenciamento dessa consideração.

O segundo trecho dá a entender que nas tomografias computadorizadas obtemos imagens melhores recebendo a mesma dose de radiação ionizante que numa radiografia. Contudo, ainda que realmente possibilitem imagens com melhor resolução (e também em três dimensões), tais exames implicam no recebimento de doses consideravelmente maiores de radiação ionizante. No caso de exames do tórax, por exemplo, enquanto a dose efetiva recebida numa radiografia é de cerca de 0,1 mSv (mili

Sievert), numa tomografia ela é de cerca de 6 mSv, ou seja, sessenta vezes maior. Afirmar que uma tomografia envolve “a mesma dosagem de radiação de uma radiografia convencional” acaba dificultando ou até mesmo interditando a possibilidade de produção de sentidos pertinentes do ponto de vista científico sobre esse aspecto.

O terceiro trecho afirma que a absorção de raios gama pelos seres vivos ocasiona efeitos “bastante danosos”. Ele silencia, contudo, as posições científicas aceitas de que os efeitos dependerão da dose efetiva recebida e de que, se as doses recebidas forem relativamente pequenas (da ordem das doses a que nos submetemos em exames de diagnóstico por imagem), sequer é possível garantir que haverá efeitos danosos – ao contrário do determinismo que se faz presente na sentença. Isso porque no que se refere à sua natureza, os efeitos biológicos das radiações ionizantes costumam ser divididos em teciduais (reações agudas) e estocásticos (efeitos crônicos). Os efeitos teciduais ocorrem apenas com doses relativamente altas de radiação ionizante e são de natureza determinística. Ocorrem quando há morte de um grande número de células, levando a feridas, queimaduras, descamação da pele e até à morte. Já os efeitos estocásticos resultam de doses relativamente baixas e, caso se manifestem, isso ocorrerá a longo prazo. Ou seja, são de natureza estatístico-aleatória: quanto mais radiação ionizante em doses relativamente baixas um indivíduo recebe, maior a probabilidade (mas não a garantia) de que ele sofra efeitos estocásticos como o desenvolvimento de tumores. Destarte, o trecho contribui para interditar o sentido de que, em doses relativamente baixas, os efeitos causados pelas radiações ionizantes são de cunho probabilístico: podem ou não ocorrer.

Já o quarto trecho é composto por duas sentenças que, em si, não estão equivocadas: “Sob condições controladas, os raios gama podem destruir células cancerosas” e “sem controle, [os raios gama] podem provocar o câncer”. O problema é que a junção das duas sentenças foi feita com a palavra “mas”. Nesse contexto, a frase completa silencia a posição dominante na comunidade científica, isto é, a de que, mesmo sob condições controladas, como nas que recebemos doses relativamente baixas, os raios gama, assim como qualquer outro tipo de radiação ionizante, podem levar a efeitos estocásticos (como o desenvolvimento de um câncer). Assim, não é apenas em condições não-controladas que a radiação ionizante traz riscos ao ser humano – sentido que acaba ficando interditado pela forma/conteúdo da frase.

Duas imprecisões foram registradas no escopo da Medicina Nuclear (grifos nossos):

*“[No contexto da tomografia por emissão de pósitrons] Um escâner **mede a radioatividade** emitida por todo o corpo do paciente [...]” (Coleção F, volume 3, p. 241)*

*“[No contexto do mapeamento por radioisótopos [...] os raios gama emitidos por esse órgão são captados por uma câmera especial, que **gera uma imagem digital do órgão** em estudo numa tela de vídeo”. (Coleção G, volume 3, p. 193)*

O primeiro trecho afirma que um aparelho de tomografia por emissão de pósitrons detecta a “radioatividade” emitida pelo paciente. Entretanto, nesse tipo de exame o que é detectado são os fótons de raios gama antiparalelos gerados a partir da aniquilação de elétrons com pósitrons (estes sim, emissões radioativas). Ou seja: embora detectem raios gama, esses raios gama não são provenientes de emissões radioativas, mas sim, da aniquilação de pares matéria-antimatéria. A afirmação feita no trecho interdita a produção desse sentido cientificamente pertinente.

Ao afirmar que o mapeamento por radioisótopos produz uma imagem do órgão em estudo, o segundo trecho silencia a consideração de que esse tipo de exame não permite obter bom nível de distinção para estruturas anatômicas. Seu foco são análises funcionais, pois a detecção da radiação emitida de dentro do corpo do paciente funciona como uma forma de determinar de onde ela está vindo. Portanto, o trecho atua em prol da interdição do sentido de que se trata de um exame com finalidade funcional e não estrutural/anatômica.

Outras duas imprecisões foram registradas no escopo da ressonância magnética (grifos nossos):

*“[sobre RMN] Esse campo vai interagir diretamente com o **campo magnético produzido pelo movimento de cada átomo** de hidrogênio do corpo do paciente e, conseqüentemente, vai fazer os **átomos vibrarem em ressonância** e na mesma frequência do campo externo. Dessa interação, os prótons emitirão uma radiação eletromagnética, captada pelos sensores do aparelho [...]” (Coleção D, volume 2, p. 239)*

“Variando-se a intensidade do campo magnético, os prótons tendem a voltar para o seu estado de spin inicial [...]”. (Coleção I, volume 3, p. 200).

Diferentemente do que afirma o primeiro trecho, o campo magnético externo vai interagir com o momento magnético intrínseco (associado ao *spin*) dos prótons que compõem o núcleo dos átomos de Hidrogênio. E esse momento magnético intrínseco não possui relação com qualquer tipo de movimento, seja do átomo ou do próton em si. A interação entre o campo magnético externo e os momentos magnéticos intrínsecos dos prótons do Hidrogênio irá ocasionar o surgimento de dois níveis de energia: um associado à situação de alinhamento paralelo *spin*-campo e outro associado à situação de alinhamento antiparalelo *spin*-campo. Aplicam-se então ondas de rádio a fim de que prótons que estão na situação de menor energia (entre essas duas), alcancem o nível de maior energia (ao absorverem essa radiação). Para isso, as ondas de rádio devem ter energia equivalente à diferença de energia entre esses dois níveis, isto é, elas devem estar em ressonância com ela. Assim, diferentemente do que foi afirmado, os átomos não irão vibrar em ressonância com o campo magnético externo. Por fim, o aparelho detecta a energia emitida após os prótons voltarem ao nível de menor energia. Em síntese, portanto, o trecho acaba dificultando ou até mesmo interditando a possibilidade de produção de sentidos pertinentes do ponto de vista científico sobre o funcionamento físico de um exame de ressonância magnética.

O segundo trecho se equivoca ao afirmar que é por conta da variação da intensidade do campo magnético que os prótons voltarão para o seu estado inicial. Conforme comentamos no parágrafo anterior, os prótons absorvem ondas de rádio para atingirem um estado de maior energia e, assim, mais instável – após certo tempo, voltarão para o estado de menor energia por meio da emissão de radiação eletromagnética. Dessa forma, o trecho contribui para interditar o sentido de que, numa ressonância magnética, são utilizadas ondas de rádio para afetar o nível de energia dos prótons que compõem os átomos de Hidrogênio.

Por fim, uma imprecisão foi encontrada no escopo da produção de raios X (grifos nossos):

*“Os raios X podem ser produzidos pela **oscilação de elétrons das camadas mais internas dos átomos** ou quando elétrons de alta energia colidem com outras cargas elétricas ou com átomos de um alvo metálico.”* (Coleção F, volume 3, p. 134)

A produção de raios X ocorre apenas de duas maneiras: desaceleração repentina de elétrons previamente acelerados ao “colidirem” com um alvo e ocupação de espaços deixados por elétrons ejetados de camadas internas dos átomos do alvo por meio dessas “colisões” – esses espaços são então ocupados por elétrons de camadas mais externas que, para ocupá-los, devem perder energia através da emissão de radiação eletromagnética (no caso, raios X). Assim, diferentemente do que foi afirmado no trecho, não é possível produzir raios X pela “oscilação de elétrons das camadas mais internas dos átomos”. Tal afirmação acaba interditando o sentido de que há apenas dois mecanismos que resultam na produção de raios X.

No que se refere a trechos que consideramos que poderiam ter sido melhor detalhados com o objetivo de possibilitar maior abrangência no espectro de sentidos possíveis e, conseqüentemente, maior esclarecimento aos leitores, encontramos um total de 28 nas coleções analisadas.

Quatro deles dizem respeito à utilização de expressões e/ou nomenclaturas que poderiam ter sido melhor complementadas (grifos nossos):

*“Um detector de **radiação** como o Geiger-Müller [...] Quando a **radiação** passa [...]”.* (Coleção D, volume 3, p. 241)

*“[...] há na Medicina uma ampla gama de equipamentos de diagnóstico por imagem, que vão além das imagens geradas por **raios X** ou ultrassonografia. Os tomógrafos, por exemplo, têm sua origem em detectores de partículas [...]”.* (Coleção D, volume 2, p. 239)

*“[Sobre profissionais da área médica] Nas suas atividades, costumam ainda usar um crachá especial provido de um filme fotográfico que indica o grau de exposição à **radiação**.”* (Coleção F, volume 3, p. 177).

*“Nessa época [final do século XIX], os efeitos nocivos da **radiação** eram totalmente desconhecidos [...]” (Coleção I, volume 3, p. 198)*

Consideramos ser pertinente a adjetivação da palavra “radiação” com o termo “ionizante” nos primeiro, terceiro e quarto trechos. De fato, os contadores Geiger-Müller detectam radiações ionizantes e não radiações de forma geral – lembremos, aqui, que a luz visível e as ondas de rádio, por exemplo, também são radiações (não ionizantes, no caso). Similarmente, os terceiro e quarto trechos estão fazendo menção aos riscos associados, não a qualquer tipo de radiação, mas apenas ao grupo das radiações ionizantes. Quanto ao segundo trecho, seria conveniente o uso do termo “radiografias” ao invés de “raios X”, especialmente porque as tomografias computadorizadas também são geradas por raios X. Da forma como está escrito, abre-se maior margem para a produção do sentido de que os tomógrafos não têm a ver nem com os ultrassons (correto) nem com os raios X (equivocado).

Quatro trechos silenciaram-se sobre a existência de dois mecanismos para a produção de raios X ao mencionarem apenas o mecanismo de freamento (bremsstrahlung):

“[Sobre a produção de raios X] Essa intensa desaceleração dos elétrons faz com que eles emitam ondas eletromagnéticas de alta frequência na faixa do espectro em que se situam os raios X.” (Coleção B, volume 3, p. 217).

“[Sobre os raios X] São produzidos em tubos de vácuo, em que elétrons submetidos a uma alta-tensão são desacelerados ao atingir um alvo metálico.” (Coleção D, volume 3, p. 195)

“Os raios catódicos, ao se chocarem contra o ânodo, são desacelerados bruscamente e emitem os raios X [...]” (Coleção G, volume 3, p. 192)

“Esses elétrons são acelerados por meio de uma diferença de potencial elevada, existente entre o filamento e o alvo de tungstênio. Ao atingirem esse alvo, os elétrons são bruscamente retardados, isto é, sofrem uma desaceleração muito intensa.” (Coleção H, volume 3, p. 218).

Ainda no escopo da temática produção de raios X, um trecho, embora pareça se referir à outra maneira de produzir raios X, não a detalha (grifos nossos):

*“Os raios X podem ser produzidos [...] **quando elétrons de alta energia colidem com outras cargas elétricas** ou com átomos de um alvo metálico.” (Coleção F, volume 3, p. 134).*

Conforme comentamos anteriormente, a colisão de elétrons acelerados pode ejetar elétrons de camadas internas dos átomos que compõem o alvo. Em seguida, elétrons que estavam em camadas mais externas emitem raios X a fim de saltarem para os espaços que ficaram livres nas camadas internas. Assim, consideramos que o preenchimento do silêncio deixado por essa omissão, poderia guiar os estudantes a produzirem sentidos que guardam coerência com os aceitos cientificamente.

Nove trechos silenciaram-se sobre aspectos relacionados ao funcionamento de procedimentos médicos que se utilizam das radiações (grifos nossos):

1- *“[Sobre o funcionamento da tomografia por emissão de pósitrons] emitem pósitrons que colidem com elétrons do tecido humano a ser examinado – ambos se aniquilam e **geram um par de raios gama**, fótons de alta energia. Esses fótons, emitidos simultaneamente, são detectados [...]” (Coleção A, volume 3, p. 263)*

2- *“[Sobre o funcionamento da tomografia por emissão de pósitrons] Esses fótons [...] são detectados e por meio deles determina-se a sua origem e mapeia-se o órgão onde eles se iniciaram. Note que esse mapeamento depende dos elétrons aniquilados que pertencem aos tecidos - **a localização e a distribuição desses elétrons possibilitam o diagnóstico médico.**” (Coleção A, volume 3, p. 263).*

3- “[Sobre a radiografia] Hoje, não imaginamos a medicina sem essa técnica de **diagnóstico** do corpo humano [...]. Ainda na medicina, os raios X são utilizados no **tratamento** complementar de alguns tipos de câncer.” (Coleção B, volume 3, p. 217)

4- “O uso dos raios X para a **visualização de tecidos moles** só ocorreu a partir da invenção da **tomografia computadorizada**, em 1972.” (Coleção F, volume 3, p. 135).

5- “[Sobre mapeamento por radioisótopos] Embora seja difícil visualizar detalhes anatômicos com essa técnica, ela é bastante útil no estudo do funcionamento do órgão mapeado. Esse é um procedimento médico **relativamente seguro** [...]”. (Coleção F, volume 3, p. 137)

6- “Os **tecidos lesionados, como absorvem maior quantidade dos núcleos radioativos**, emitem mais radiação [...]”. (Coleção F, volume 3, p. 241).

7- “A **visualização de tecidos moles** utilizando raios X só foi possível com a invenção da **tomografia computadorizada**, em 1972.” Coleção G, volume 3, p. 192).

8- “[numa radioterapia] ao interagir com o tecido humano, **a radiação ataca as células cancerosas** e não permite que elas se dupliquem [...]” (Coleção I, volume 3, p. 198).

9- “[Sobre o funcionamento da ressonância magnética] Há tempos de respostas diferentes para água, sangue, tecidos e ossos, facilitando a compreensão das imagens que **podem revelar infecções, tumores, calcificações, entre outros problemas de saúde.**” (Coleção I, volume 3, p. 200).

Acreditamos que seria pertinente o primeiro trecho explicitar que a aniquilação elétron-pósitron gera dois fótons de raios gama que são antiparalelos. Já o segundo trecho poderia ter oferecido um exemplo detalhando o motivo que torna a localização de onde estão ocorrendo as aniquilações relevante na Medicina. De fato, atualmente o isótopo radioativo mais utilizado nas tomografias por emissão de pósitrons é o Flúor-18. Ele é capaz de funcionar como marcador da fluorodeoxiglicose (FDG), substância semelhante à glicose. Como células cancerígenas consomem muita glicose, a técnica pode ser utilizada na detecção, localização e classificação de tumores em estágios; na diferenciação entre tumores benignos e malignos; na detecção e avaliação de recorrências (“voltas” do tumor) e metástases (“espalhamentos” do tumor); entre outros fins.

O terceiro trecho menciona que os raios X podem ser utilizados tanto em procedimentos diagnósticos quanto em procedimentos terapêuticos. Contudo, com o intuito de tentar interditar o sentido de que se trata de dois usos diferentes para uma mesma coisa, avaliamos que seria pertinente comentar que as doses de radiação ionizante envolvidas são muito diferentes nos dois casos.

Acreditamos que nos quarto e sétimo trechos seria conveniente explicitar que, por terem um funcionamento similar às radiografias, as tomografias computadorizadas também têm como foco a análise de regiões do corpo que possuem estruturas com diferentes densidades e que estão espacialmente próximas umas das outras – diferença de densidade que corresponderá a regiões mais claras e mais escuras na imagem. Ou seja, ainda que possibilitem uma melhor visualização de tecidos moles em comparação com as radiografias, as tomografias também não são os exames mais indicados para análises desse tipo. Similarmente, no nono trecho, parece-nos válida a sugestão de que seja explicitado que exames de ressonância magnética têm como foco análises de tecidos moles (pois estes possuem água em sua composição), não sendo indicadas em casos de problemas relacionados a estruturas ósseas.

O quinto trecho, ao afirmar que o mapeamento por radioisótopos é “relativamente seguro”, oferece margem a muitas interpretações. O que seria esse relativamente seguro? Mais seguro que uma radiografia? Relativamente seguro porque envolveria doses baixas de radiação ionizante? Baixas quando comparada com quais parâmetros? Por esse ângulo, sugerimos a pertinência de que se explicita que se trata de um exame que envolve radiação ionizante.

O sexto trecho não explica por que tecidos lesionados absorvem maior quantidade de núcleos radioativos, ficando a cargo do leitor produzir sentidos na lacuna desse não-dito. Poder-se-ia usar exemplos como o que oferecemos há pouco (sobre o maior consumo de glicose por células cancerígenas).

No oitavo trecho seria conveniente romper o silêncio sobre o fato de que a radiação utilizada numa radioterapia também afeta colateralmente células saudáveis – direcionando os leitores à produção desse sentido.

Seis trechos abordam de forma pouco detalhada os riscos associados à exposição às radiações ionizantes, silenciando-se sobre a existência de duas classes de efeitos biológicos (os teciduais e os estocásticos) e suas características (grifos nossos):

1- “[No âmbito de comentários sobre os raios X e a radiografia] A exposição **excessiva** aos raios X é prejudicial para os tecidos humanos. Pode provocar **lesões, manchas na pele e até mesmo câncer**.” (Coleção C, volume 3, p. 176)

2- “[Após mencionar que radiações X, alfa, beta e gama são ionizantes] A radiação gama é altamente energética e muito penetrante, por isso a exposição de seres vivos **a esse tipo de radiação** deve sempre ser evitada.” (Coleção D, volume 3, p. 248)

3- “Sob condições controladas, os raios gama podem **destruir células cancerosas** [...]”. (Coleção F, volume 3, p. 137)

4- “A utilização dos raios X deve ser feita de maneira cautelosa, pois no ser humano a exposição **demorada** a esses raios pode causar **vermelhidão da pele, ulcerações, empolamento e até câncer**. Para evitar esses efeitos, os operadores de raios X utilizam aventais de chumbo de alta densidade, impedindo que essas radiações possam lhes causar algum dano à saúde.” (Coleção G, volume 3, p. 192).

5- “Do mesmo modo que os **raios X**, os **raios gama** podem causar danos irreparáveis às células animais. Apesar de ser conhecida por causa da explosão de **bombas atômicas** [...] atualmente a radiação gama é largamente empregada em **Medicina Nuclear** [...]”. (Coleção H, volume 3, p. 220)

6- “[...] os cientistas que trabalhavam com essas substâncias tiveram vários problemas de saúde, como **queimaduras, úlceras, catarata e câncer**. Os medicamentos produzidos com substâncias radioativas mais prejudicavam do que tratavam.” (Coleção I, volume 3, p. 198).

Ao utilizarem as palavras “excessiva” e “demorada”, o primeiro e o quarto trecho acabam silenciando a posição dominante na comunidade científica: o recebimento de qualquer dose de radiação ionizante, por menor que seja, pode ocasionar problemas futuros ao ser humano (efeitos estocásticos como o desenvolvimento de tumores). Dificulta-se, assim, a produção do sentido de que os riscos estão presentes em qualquer exposição à radiação ionizante e não apenas nas “excessivas” (caberia questionar também o que está sendo considerado como “exposição excessiva” e “exposição demorada”). Além disso, não foram comentadas as diferenças entre efeitos agudos e estocásticos, bem como suas relações com as doses de radiação ionizante recebidas. Como esses trechos estão localizados no contexto de comentários sobre a utilização dos raios X, os leitores são conduzidos a crer que a realização de radiografias pode causar desde câncer (efeito futuro possível, apesar de pouco provável) até lesões e manchas na pele (efeito que só ocorreria com doses relativamente altas de radiação ionizante – o que não é o caso dos exames de diagnóstico médico por imagem).

O segundo trecho acaba direcionando o leitor a interpretações equivocadas como a de que apenas a radiação gama deve ser evitada. Entretanto, isso deve ocorrer para qualquer tipo de radiação ionizante (raios ultravioleta, X, gama, alfa, beta etc.) – o que poderia ter sido textualmente ressaltado.

A forma como foi escrito leva o terceiro trecho ao fomento da interpretação de que os raios gama (numa radioterapia, por exemplo) destruirão apenas células cancerígenas. Contudo, ocorre também como efeito colateral a morte de células saudáveis.

O quinto trecho, além de não detalhar quais são os possíveis danos causados às células animais por radiações como os raios X e os raios gama e sob que condições cada tipo de dano pode ocorrer, menciona num mesmo parágrafo “bombas atômicas” e “Medicina Nuclear”. Acreditamos que isso pode levar os estudantes a produzirem sentidos que associem os efeitos causados por uma bomba atômica com os efeitos causados por terapias e até mesmo por exames de diagnóstico por imagem que utilizam radiações.

Já o sexto trecho misturou efeitos teciduais (queimaduras, úlceras) com efeitos estocásticos (câncer) numa mesma sentença, sem detalhar em que contextos e situações cada um deles pode ocorrer. Consideramos que tal omissão fomenta a produção do sentido de que ao realizarmos um exame de diagnóstico, como uma radiografia, seremos acometidos por um ou mais desses males.

Três trechos acabam conduzindo os leitores a interpretações que tomam os raios X e a radioatividade como sinônimos ou como elementos estritamente relacionados:

“[Num capítulo sobre Física Nuclear] A primeira aplicação das radiações na Medicina foram os raios X”. (Coleção C, volume 3, p. 227)

“Os profissionais da área médica que lidam com materiais radioativos, por exemplo, embora tomem os devidos cuidados para evitar uma exposição prolongada e usem vestimenta adequada, são submetidos periodicamente a exames para detectar qualquer tipo de anomalia que possa ser causada pelas emissões dos materiais com que trabalham. Nas suas atividades, costumam ainda usar um crachá especial provido de um filme fotográfico que indica o grau de exposição à radiação.” (Coleção F, volume 3, p. 177).

“Do mesmo modo que os raios X, os raios gama podem causar danos irreparáveis às células animais. Apesar de ser conhecida por causa da explosão de bombas atômicas [...] atualmente a radiação gama é largamente empregada em Medicina Nuclear [...]”. (Coleção H, volume 3, p. 220)

Apesar de a frase do primeiro trecho estar correta, ela está inserida em um capítulo sobre “Física Nuclear”, seção “Aplicações das radiações”, logo após a abordagem do tema radioatividade. Trata-se de uma seção iniciada com a seguinte sentença: “No Brasil, existem vários centros de referência de pesquisas científicas na área nuclear”. Dessa forma, de maneira não proposital, parece haver certo direcionamento para a ideia de que os raios X e, conseqüentemente, os exames que os utilizam (radiografia, tomografia computadorizada etc.), estão relacionados ao fenômeno nuclear da radioatividade.

O segundo trecho pode levar os estudantes a pensarem que o referido controle de riscos ocupacionais só ocorre para profissionais que trabalham com elementos radioativos (Medicina Nuclear), quando, na verdade, também ocorre para profissionais do campo da Radiologia. Além disso, pode levá-los a associar raios X com radioatividade, afinal, parece fazer parte do conhecimento de senso comum a noção de que técnicos que trabalham com equipamentos de radiografia devem se proteger e controlar as doses de radiação ionizante que recebem em serviço.

Já o terceiro trecho engloba em um mesmo parágrafo menções aos raios X, à radioatividade e às bombas atômicas, potencializando interpretações que tomam os raios X e a radioatividade como fenômenos estritamente interligados.

Por fim, um trecho acaba guiando os leitores a produzirem o sentido de que o ser humano é dispensável no processo de interpretação das imagens médicas produzidas pelos equipamentos (grifos nossos):

*“Essas informações imagéticas **são interpretadas pelos avançados aparelhos criados pelo conhecimento físico.**” (Coleção B, volume 1, p. 16)*

Silencia-se, assim, o fato de que, mesmo nos exames mais modernos, há médicos responsáveis pela produção de laudos que visam interpretar as imagens obtidas.

Inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade

De maneira geral para todas as coleções, os trechos que abordam a utilização das radiações na Medicina parecem entender a Física como provedora de soluções tecnológicas à Medicina. Nesse sentido, a visão predominante parece ser a de que a Tecnologia é uma aplicação da Ciência, uma tributária da Ciência – postura chamada por Gardner (1999) de idealista. Alguns trechos ilustram essa consideração, evidenciando uma supervalorização da Física em detrimento da Tecnologia e da Medicina, as quais seriam beneficiadas por esse “conhecimento superior” (grifos nossos):

*“A contribuição da Física à Medicina aplica-se a **todas** as suas áreas e especialidades [...] A presença dessas novas tecnologias **tornou as clínicas e hospitais modernos um pouco mais parecidos com instituições de pesquisa em Física do que com casas de saúde.**” (Coleção A, volume 1, p. 19).*

*“A Física transformou-se nos **óculos de Miguilim da Medicina**” (Coleção B, volume 1, p. 16)*

*“Dia após dia, estudos científicos **vêm fornecendo à Medicina novos recursos que utilizam os conhecimentos da Física Nuclear.**” (Coleção G, volume 3, p. 237)*

Vale notar que a menção aos “óculos de Miguilim” no segundo trecho, relaciona-se à obra “Manuelzão e Miguilim”, de João Guimarães Rosa. Miguilim, personagem que possuía problemas visuais, ao ganhar óculos, passa a ter uma visão aperfeiçoada das coisas.

No que diz respeito à visão sobre as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, foi possível notar que, de forma geral, explícita ou implicitamente, propositadamente ou não, os livros procuraram focar nos benefícios possibilitados aos seres humanos com o desenvolvimento de novos artefatos e procedimentos no campo da Medicina – como evidenciado no trecho a seguir:

“Com a evolução dos recursos da tecnologia nuclear, o número de pessoas que conseguem obter a cura cresce a cada ano.” (Coleção G, volume 3, p. 238).

Os riscos associados à realização desses procedimentos até são comentados em algumas coleções, mas com pouco detalhamento e especificidade, o que, conforme concluímos anteriormente, acaba fomentando a produção de sentidos cientificamente equivocados sobre a questão. Não se menciona, por exemplo, que o exame de ressonância magnética não envolve radiação ionizante, diferentemente do que ocorre nas radiografias e tomografias computadorizadas. Ainda nesse escopo, silencia-se o fato de que, cada vez mais, a realização exacerbada de exames de diagnóstico médico por imagem tem levado pacientes a desenvolverem problemas de saúde. Embora controversos - e, até por conta disso, ainda mais relevantes em termos didáticos -, estudos apontam que: i) crianças que realizam muitas CT's têm maior chance de desenvolver leucemia e câncer cerebral; ii) a exposição à radiação dos diagnósticos médicos é a maior responsável por casos de câncer de mama; iii) se não mudarmos nossos hábitos, futuramente, de 3 a 5% dos casos de câncer serão induzidos pelos exames de imagem. Outro problema apontado por alguns estudos e cuja discussão não se faz presente nas coleções consultadas, é a questão de que a dose de radiação recebida pode variar muito de hospital para hospital ou de clínica para clínica. Nesse sentido, nem sempre são usadas as menores doses possíveis conforme recomendado pelo princípio de limitação de dose publicado pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica. Some-se a isso o fato de que, em alguns casos, a realização de exames que envolvem radiações ionizantes não era efetivamente necessária (Corneliussen, 2014; Redberg & Smith-Bindman, 2014).

Ainda no âmbito da visão dos livros sobre as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, há que se frisar que não foram abordados aspectos como o custo dos equipamentos e dos procedimentos médicos que utilizam radiações, tampouco o reflexo desses custos em termos do acesso da população a eles. Silenciam-se também os interesses em jogo: dos fabricantes dos equipamentos, dos hospitais e clínicas, dos profissionais da área médica etc. Por exemplo: conforme indicado, respectivamente, por Redberg e Smith-Bindman (2014) e Colucci (2017a, 2017b), por custarem milhões, os fabricantes dos aparelhos incentivam seu uso; e médicos são premiados por certos hospitais quando solicitam exames a seus pacientes.

A única exceção a ser registrada, ainda que de forma tímida, é a coleção F. No volume 3, página 138, há uma *box* sugerindo que os alunos façam uma pesquisa para que conheçam outras técnicas de

diagnóstico por imagens, que hospitais da cidade oferecem esses serviços, como a população é atendida, áreas de aplicação de cada técnica, custo, disponibilidade etc. Trata-se, assim, de uma atividade que poderia, caso efetivamente levada à cabo, desencadear discussões como as empreendidas nos últimos dois parágrafos.

Tendo em vista os apontamentos efetuados ao longo desta seção, acreditamos ser possível concluir que os trechos consultados das coleções analisadas estão permeados por uma visão pouco crítica sobre as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, bem como por uma supervalorização da Física e pelo entendimento de que a Tecnologia está subordinada à Ciência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliamos de forma positiva o fato de oito das nove coleções consultadas reservarem um espaço para a abordagem do uso das radiações na Medicina. Por outro lado, dado o número total de páginas de cada coleção e o caráter um tanto quanto superficial (pouco detalhado) e informativo (pouco explicativo) de parte considerável dos trechos analisados, consideramos ser pertinente a sugestão de que esse espaço seja ampliado em quantidade e os trechos sejam aperfeiçoados em qualidade. Nesse escopo, as recomendações presentes em diretrizes oficiais para a educação brasileira, os trabalhos desenvolvidos por pesquisadores da área e as análises que realizamos sobre a acurácia e o detalhamento conceitual presente nos livros, podem justificar e contribuir para a efetivação dessa sugestão.

Tanto quanto as imprecisões conceituais, preocupa-nos o caráter superficial e informativo adotado em certos trechos – assim como fora observado por Miquelin *et al.* (2012) na análise que realizaram. Ainda que funcione como forma de evitar imprecisões, tal caráter, similarmente ao que ocorre com as imprecisões conceituais, acaba fomentando a produção de sentidos cientificamente equivocados pelos estudantes.

Preocupa-nos também a ausência de discussões que fujam ao aspecto estritamente científico da temática, isto é, de discussões que adentrem em questões tecnológicas e sociais. Nesse sentido, sugerimos que além de abordar aspectos do funcionamento da radiografia, da tomografia computadorizada, da ressonância magnética, da radioterapia, do mapeamento por radioisótopos e da tomografia por emissão de pósitrons, sejam abordados também de forma sistemática os riscos associados à exposição à radiação ionizante, a diferença entre as doses de radiação ionizante envolvidas em diagnósticos e em terapias, a diferença entre contaminação e irradiação, os problemas resultantes do aumento do número de exames que realizamos, os interesses em jogo, os custos envolvidos e de que forma eles atuam para delimitar quem pode ter acesso aos “produtos da modernidade” etc.

Finalizando, devemos explicitar que não tivemos a pretensão de esgotar as possibilidades de análise sobre a temática em estudo nos livros consultados: certamente outras análises podem ser feitas. Além disso, não podemos descartar a hipótese de que tenhamos deixado passar elementos que poderiam ter sido analisados no âmbito deste trabalho – ainda que confiemos que se trata de uma minoria. Ainda assim, esperamos que a fundamentação teórico-metodológica e os procedimentos analíticos que adotamos, bem como as discussões e as análises que empreendemos, possam, de alguma forma, subsidiar o desenvolvimento de novos estudos, seja no campo da utilização das radiações na Medicina ou em outros temas/componentes curriculares.

REFERÊNCIAS

- Abramowicz, J. S. (2013). Benefits and risks of ultrasound in pregnancy. *Seminars in Perinatology*, 37(5), 295-300. <https://dx.doi.org/10.1053/j.semperi.2013.06.004>
- Bergmann, A. G., & Dominghini, L. (2015). Análise do Conteúdo Serpentes nos Livros Didáticos de Ciências do 7º Ano do Município de Blumenau. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(2), 259-273. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2517>
- Bilaniuk, L. T., & Bilaniuk, O. M. (1984). NMR imaging in medicine. *Physics Education*, 19(5), 247-252. <https://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/19/5/005>

- Bonagamba, T. J., Capelle, K. W., & Azevedo, E. R. (2005). A RMN e suas aplicações atuais. *Ciência Hoje*, 37(221), 40-48. Recuperado de <http://cienciahoje.org.br/artigo/a-rmn-e-suas-aplicacoes-atuais/>
- Borges, O. (2006). Formação inicial de professores de Física: Formar mais! Formar melhor! *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(2), 135-142. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172006000200003&script=sci_abstract&tlng=pt
- Chazan, L. K. (2003). O Corpo Transparente e o Panóptico Expandido: Considerações sobre as Tecnologias de Imagem nas Reconfigurações da Pessoa Contemporânea. *PHYSIS: Revista de Saúde Coletiva*, 13(1), 193-214. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-73312003000100009>
- Chiquetto, M. J., & Krapas, S. (2012). Livros didáticos baseados em apostilas: como surgiram e por que foram amplamente adotados. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 12(3), 173-191. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2451>
- Choppin, A. (2004). História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. *Educação e Pesquisa*, 30(3), 549-566. <https://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022004000300012>
- Colucci, C. (2017a). 'De cara, me ofereceram participação financeira nos exames', relata médico. *Folha de São Paulo*, 25 de abril. Recuperado de <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/claudiacollucci/2017/04/1878129-de-cara-me-ofereceram-participacao-financeira-nos-exames-relata-medico.shtml>
- Colucci, C. (2017b). Hospitais premiam médicos que indicam mais exames. *Folha de São Paulo*, 26 de fevereiro. <https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2017/02/1861919-hospitais-premiam-medicos-que-indicam-mais-exames.shtml>
- Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1988. (1988). Brasília, DF: Presidência da República, Casa Civil. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm
- Cordeiro, M. D., & Peduzzi, L. O. Q. (2013). Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(3), 3602-3612. <https://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172013000300027>
- Corneliussen, S. T. (2014). Are we “silently irradiating ourselves to death” in medical imaging? *Physics Today*, 10 de fevereiro. Recuperado de <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.5.8031/full/>
- Cuppari, A., Rinaudo, G., Robutti, O., & Violino, P. (1997). Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. *Physics Education*, 32(5), 302-308. <https://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/32/5/012>
- Decreto-Lei n. 1.006, de 30 de dezembro de 1938 (1938). *Estabelece as condições de produção, importação e utilização do livro didático*, Diário Oficial da União. Rio de Janeiro, RJ: Diário Oficial da União. Recuperado de <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1939/decreto-lei-1006-30-dezembro-1938-350741-publicacaooriginal-1-pe.html>
- Ferreira, M. (2013). O efeito das radiações ionizantes em doses baixas – cinco décadas de disputa. *Com Ciência: revista eletrônica de jornalismo científico*, (152). Recuperado de http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542013000800008&lng=es&nrm=iso
- Garcia, N. M. D. (2012). Livro didático de Física e de Ciências: contribuições das pesquisas para a transformação do ensino. *Educar em Revista*, (44), 145-163. <https://dx.doi.org/10.1590/S0104-40602012000200010>
- Garcia, N. M. D. (2017). *O Livro Didático de Física e de Ciências em Foco: dez anos de pesquisa*. São Paulo, SP: Livraria da Física.
- Gardner, P. L. (1999). The representation of science-technology relationships in Canadian physics textbooks. *International Journal of Science Education*, 21(3), 329-347. <https://dx.doi.org/10.1080/095006999290732>

- Gibson, A. P., Cook, E., & Newing, A. (2006). Teaching Medical Physics. *Physics Education*, 41(4), 301-306. <https://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/41/4/001>
- Guerra, A., Braga, M., & Reis, J. C. (2007). Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(4), 575-583. Recuperado de <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/070304.pdf>.
- Hershkovitz, R., Sheiner, E., & Mazor, M. (2002). Ultrasound in obstetrics: a review of safety. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 101(1), 15-18. [https://dx.doi.org/10.1016/S0301-2115\(01\)00469-9](https://dx.doi.org/10.1016/S0301-2115(01)00469-9)
- Johansson, K. E., Nilsson, C., & Tegner, P. E. (2006). An educational PET camera model. *Physics Education*, 41(5), 437-439. <https://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/41/5/009>
- Keevil, S. F. (2001). Magnetic resonance imaging in medicine. *Physics Education*, 36(6), 476-485. <https://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/36/6/305>
- Lajolo, M. (1996). Livro didático: um (quase) manual de usuário. *Revista em Aberto*, 16(69), 45-50. <https://dx.doi.org/10.24109/2176-6673.emaberto.16i69.2061>
- Langhi, R., & Nardi, R. (2012). Trajetórias formativas docentes: buscando aproximações na bibliografia sobre formação de professores. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 5(2), 7-28. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37710>
- Lima, R. S., Afonso, J. C., & Pimentel, L. C. F. (2009). Raios-X: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, 32(1) 263-270. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000100044>
- Machado, D. I., & Nardi, R. (2007). Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de física moderna. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 90-116. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen6/ART6_Vol6_N1.pdf
- Martins, I. (2006). Analisando livros didáticos na perspectiva dos Estudos do Discurso: compartilhando reflexões e sugerindo uma agenda para a pesquisa. *Pro-Posições*, 17(1), 117-136. Recuperado de <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/proposic/article/view/8643659>
- Martins, R. A. (1998). A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 20(4), 373-391. Recuperado de http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v20_373.pdf
- Martins, R. A. (2003). As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, 1(1), 29-41. Recuperado de <http://www.ghhc.usp.br/server/pdf/curie-a1.pdf>
- Martins, R. A. (1990). Como Becquerel não descobriu a radioatividade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 7(n. esp.), 27-45. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/10061/14903>
- Martins, R. A. (2004). Hipóteses e interpretação experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. *Ciência & Educação (Bauru)*, 10(3), 501-516. <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132004000300013>
- Martins, R. A. (1997). Investigando o invisível: as pesquisas sobre raios X logo após a sua descoberta por Röntgen. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, (17), 81-102. Recuperado de https://www.sbhcc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=207
- MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2014). *Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica (Resolução CNEN 164/14)*. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Brasília, DF: MCTI/CNEN. Recuperado de <http://appasp.cnem.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>
- MEC – Ministério da Educação. (2002). *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN +) – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília, DF: MEC. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>

- MEC – Ministério da Educação. (2017). *Programas do Livro – Histórico*. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília, DF: MEC/FNDE. Recuperado de <http://www.fnde.gov.br/programas/programas-do-livro/livro-didatico/historico>
- MEC – Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC. Recuperado de <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>
- Medeiros, M. A., & Lobato, A. C. (2010). Contextualizando a abordagem de radiações no ensino de química. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 12(3), 65-84. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21172010120306>
- Michael, G. (2001). X-ray computed tomography. *Physics Education*, 36(6), 442-451. <https://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/36/6/301>
- Miquelin, A. F., Freitas, M. S. T., Miquelin, C. A., & França, A. C. (2012). Reflexões sobre os conteúdos envolvendo radiologia em alguns livros didáticos de ensino médio de física e química relacionados ao PNLEM. In *XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF)*. Maresias, SP. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xiv/sys/resumos/T0356-1.pdf>
- Moreira, M. A. (2000). Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22(1), 94-99. Recuperado de <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22a13.pdf>
- Moreira, M. C. A., & Martins, I. (2015). A recontextualização de discursos da pesquisa em educação em ciências em livros didáticos de ciências: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(2), 237-257. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2516>
- Navarro, M. V. T., Leite, H. J. D., Alexandrino, J. C., & Costa, E. A. (2008). Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, 15(4), 1039-1047. <https://dx.doi.org/10.1590/S0104-59702008000400009>
- Okuno, E. (2013). Efeitos biológicos das radiações ionizantes - Acidente radiológico de Goiânia. *Estudos Avançados*, 27(77), 185-199. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142013000100014>
- Okuno, E. (1988). *Radiação: efeitos, riscos e benefícios*. São Paulo, SP: Harbra.
- Okuno, E., & Yoshimura, E. M. (2010). *Física das radiações*. São Paulo, SP: Oficina de Textos.
- Orlandi, E. P. (1987). *A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso*. São Paulo, SP: Pontes.
- Orlandi, E. P. (1997). *As Formas do Silêncio: no movimento dos sentidos*. Campinas, SP: Unicamp.
- Orlandi, E. P. (2000). *Discurso e leitura*. (5a ed.). São Paulo e Campinas. SP: Cortez e Unicamp.
- Orlandi, E. P. (2001). Apresentação: Cidade Atravessada. In E. P. Orlandi (Org.). *Cidade atravessada: os sentidos públicos no espaço urbano* (pp. 7-8). Campinas, SP: Pontes.
- Orlandi, E. P. (2008). Silêncios: presença e ausência. *Com Ciência: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*, (101). Recuperado de http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542008000400007
- Ortega, F. (2006). O corpo transparente: visualização médica e cultura popular no século XX. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, 13 (suplemento), 89-107. <https://dx.doi.org/10.1590/S0104-59702006000500006>
- Osei, E. K., & Darko, J. (2013). A Survey of Organ Equivalent and Effective Doses from Diagnostic Radiology Procedures. *ISRN Radiology*, 2013, 1-9. <https://dx.doi.org/10.5402/2013/204346>
- Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. H. (1999). Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações

fundamentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 16(3), 267-286. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6795/6275>

Paiva, E. (2016). The Inverse-Square Law and the Exponential Attenuation Law Used to the Shielding Calculation in Radiotherapy on a High School Level. *The Physics Teacher*, 54(4), 239-242. <https://dx.doi.org/10.1119/1.4944368>

Pena, F. L. A. (2006). Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(1), 1-2. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172006000100001

Pinto, A. C., & Zanetic, J. (1999). É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 16(1), 7-34. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6873/6333>

Quadros, A. L., Carvalho, E., Coelho, F. S., Salviano, L., Gomes, M. F. P. A., Mendonça, P. C., & Barbosa, R. K. (2005). Os professores que tivemos e a formação da nossa identidade como docentes: um encontro com nossa memória. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 7(1), 4-11. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21172005070102>

Redberg, R. F., & Smith-Bindman, R. (2014). We are giving ourselves cancer. *The New York Times*, Opinion Pages, Jan. 30. Recuperado de <https://www.nytimes.com/2014/01/31/opinion/we-are-giving-ourselves-cancer.html>

Rego, F., & Peralta, L. (2006). Portuguese students' knowledge of radiation physics. *Physics Education*, 41(3), 259-262. <https://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/41/3/009>

Robilotta, C. C. (2006). A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 20(2/3), 134-142. Recuperado de https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/rpsp/v20n2-3/10.pdf

Rodríguez, L. V., & Terris, M. K. (2000). Risks and complications of transrectal ultrasound. *Current Opinion in Urology*, 10(2), 111-116. <https://dx.doi.org/10.1097/00005392-199812010-00045>

Ronen, M., & Ganiel, U. (1988). From assumption of knowledge to knowledgeable considerations: a class activity on 'ionizing radiation and its biological effects'. *International Journal of Science Education*, 10(5), 523-529. <https://dx.doi.org/10.1080/0950069880100505>

Ronen, M., & Ganiel, U. (1989a). Physics in Medical Diagnosis: implementation and evaluation of an applied science unit for high school. *Research in Science & Technological Education*, 7(1), 93-108. <https://dx.doi.org/10.1080/0263514890070110>

Ronen, M., & Ganiel, U. (1989b) Physics in action - visiting a hospital. *Physics Education*, 24(1), 18-21. <https://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/24/1/307>

Santomé, J. T. (1998). *Globalização e Interdisciplinaridade: o currículo integrado*. Porto Alegre, RS: Artmed.

Schirmer, S. B., & Sauerwein, I. P. S. (2017). Livros didáticos em publicações na área de ensino: contribuições para análise e escolha. *Investigações em Ensino de Ciências*, 22(1), 23-41. <https://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2017v22n1p23>

Schmidt, R. H. (1973). *X-ray physics for radiologic technologists*. St. Louis, United States of America: W. H. Green.

Schnetzler, R. P. (1981). Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de Química de 1875 a 1978. *Química Nova*, 4(1), 6-15. Recuperado de http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3443

Sienkiewicz, Z. (2013). International Workshop on Non-Ionizing Radiation Protection in Medicine. *Medical Physics*, 40(11), 1-7. <https://dx.doi.org/10.1118/1.4824921>

- Silva, A. C., & Almeida, M. J. P. M. (2011). Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(3), 624-652. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p624>
- Silva, D. N. G., & Pereira, M. V. (2011). Análise preliminar da temática radiações ionizantes em livros didáticos do nono ano do ensino fundamental. In *XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)*. Manaus, AM, Brasil. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0015-3.pdf>
- Silva, G. S., Braibante, M. E. F., & Pazinato, M. S. (2013). Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(2), 159-182. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2470>
- Silveira, E. L., Gealh, A. M., Morales, A. G., & Caldeira, C. S. (2013). Análise do conteúdo de zoologia de vertebrados em livros didáticos aprovados pelo PNLEM 2009. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(1), 217-232. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2462>
- Terrazzan, E. A. (1992). A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 9(3), 209-214. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7392/6785>
- Valadares, E. C., & Moreira, A. M. (1998). Ensinando Física moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15(2), 121-135. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896/7584>
- Van Gelderen, F. (2004). *Understanding X-rays: a synopsis of radiology*. Berlin, Germany: Springer.
- Vargas, M. (2003). Técnica, Tecnologia e Ciência. *Revista Educação & Tecnologia*, (6), 178-183. Recuperado de <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/revedutec-ct/article/view/1084>
- Winner, L. (1986). *The whale and the reactor: a search for limits in an age of high technology*. Chicago, United States of America: University of Chicago Press.
- Wuo, W. (2000). *A física e os livros: uma análise do saber físico nos livros didáticos adotados para o ensino médio*. São Paulo, SP: PUC-SP.
- Zimmermann, E., & Bertani, J. A. (2003). Um novo olhar sobre os cursos de formação de professores. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(1), 43-62. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6563>

Recebido em: 11.01.2019

Aceito em: 22.10.2019