

ANÁLISE DA ABORDAGEM CTS DO TEMA RADIAÇÃO EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO

ANALYSIS OF APPROACHE CTS AND RADIATION HEALTH THEME IN TEXTBOOKS HIGH SCHOOL PHYSICS

Priscila Rodrigues Gomes¹ 

Wellington Pereira Queirós² 

Thiago Wesley Almeida Souza³ 

Nádia Guimarães Errobidart⁴ 

Hamilton Perez Corrêa⁵ 

Resumo

No presente trabalho são apresentados os resultados obtidos na análise do conteúdo de radiação de quatorze livros didáticos aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015 para a componente curricular de Física do Ensino Médio. Para tanto, foram utilizados indicadores de análise Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) apresentados na literatura. O estudo revelou que apesar da maioria dos livros apresentarem ponderações sobre os bons e maus usos da radiação, ainda prevalece a ideia linear reducionista de que a tecnologia apenas propicia o bem estar social. Apesar de mencionar os termos cuidado e risco sobre o uso da radiação não aprofundam e nem informam sobre os meios de proteção, bem como, não propõem ações para as mudanças nos campos econômicos, ambiental e político sobre o tema radiação. Diante de tais constatações consideramos que o livro didático por si só não obtém êxito em todas as questões defendidas pelo movimento CTS, mas é necessário ações que vão além da relação tríade, livro didático, sala de aula e professor, ou seja, a busca constante de ações sociais, formação permanente do professor nos diversos temas que envolvem a saúde humana e o bem estar da sociedade, em específico o tema radiação. No entanto, consideramos essencial o aprofundamento das questões que envolvem a inserção do conteúdo radiação nos livros didáticos com a utilização da abordagem CTS, de modo que subsidie ações que visem o desenvolvimento da autonomia e cidadania com a finalidade de atingir uma educação científica mais humana e solidária.

Palavras-chave: Ensino de Ciências. Recurso didático. Radioatividade. CTSA.

Abstract

In this paper, we present the results presented in the content analysis of fourteen textbooks used by the 2015 National Textbook Program (PNLD) for a High School Physics curriculum component. For this, we used indicators of analysis of science, technology and society (CTS) presented in the literature. The study found that despite most of the books presented on the good and bad uses of aggression, a linear reductionist idea still prevails that technology only provides social welfare. Despite mentioning the terms of caution and risk regarding the use of non-in-depth infection and information on the means of protection, as well as we do not propose actions for changes in the economic, environmental and political fields on the subject of pollution. Given these findings, it is considered that the textbook by itself is not obtained in all issues advocated by the CTS movement, but actions that go beyond the relationship of textbook, classroom and teacher, a constant search for social actions, permanent teacher training in the various themes that involve human health and the welfare of society, in specific or thematic themes. However, we consider essential or deepen the issues that involve the insertion of content in textbooks using the CTS approach, such as subsidizing actions aimed at developing capacity and citizenship with the assessment of more humane and supportive education.

Key words: Science teaching. Didactic resource. Radioactivity. CTSA.

¹ Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

² Doutorado em Educação para a Ciência (UNESP-Bauru) Docente no Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

³ Doutorando em Ensino de Ciências pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

⁴ Doutorado em Educação pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

⁵ Doutorado em Química pela Universidade Estadual Paulista. Docente do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Introdução

A partir do século XIX, o homem aprofunda os meios de dominar e explorar a natureza. Aliando a industrialização e a racionalidade técnica, este desenvolvimento é, desde então, centrado na Ciência e Tecnologia (C&T) e passou a ser considerado como um sinônimo de progresso. Porém, com a ocorrência de guerras mundiais, principalmente a segunda, tal progresso passou a ser questionado quanto a sua influência na sociedade. Exemplo disso foi a explicitação do poder destrutivo do homem quando fez uso de seu arsenal de bombas nucleares (AUTH & ANGOTTI, 2001).

Em tal cenário, grupos de educadores e pesquisadores voltaram seus olhares para as influências do uso da Ciência e Tecnologia para a sociedade, questionando quais seus possíveis malefícios e benefícios. E é neste contexto que é concebida a abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade), que tem como proposta a problematização e reflexão de temáticas de cunho social no ambiente escolar, com o intuito de sensibilizar o educando acerca de seus direitos e deveres como ser social que está inserido em um contexto específico (AULER, 2007). Fernandes e et. al, (2018) explicitam que a utilização do enfoque CTS na educação em Ciências tem como propósito dar à Ciência uma visão holística, relacionando-a com a Tecnologia, além de evidenciar seu impacto na Sociedade e, complementarmente, também objetiva analisar a influência que a Sociedade tem no desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia.

O enfoque CTSA nasce, mais especificamente, ainda no início dos anos 70 e tem as primeiras discussões no campo educacional apontadas por Jim Gatecher e Paul Hurd (AIKENHEAD, 2005). Desde então, estudos envolvendo a abordagem CTS se expandiram em ritmo acelerado, chegando as mais variadas partes do globo. A ideia de uma educação baseada nos pressupostos CTS foi amplamente discutida nas reuniões do IOSTE (*International Organization for Science and Technology Education*) realizada na cidade de Nottingham (UK), em 1982. Enfim, desde o início da década de 1980, já era discutido entre os educadores em ciências que existia a necessidade de criação de mecanismos eficazes para modificar o ensino tradicional de ciências, predominante na época.

Até o final do século passado, as pesquisas que abordavam as relações CTS mostravam-se bastante tímidas na área do Ensino de Ciências e, de acordo com Roehrig e Camargo (2013), a partir do ano 2000, houve um aumento significativo de estudos que abordam esse enfoque na educação em ciências. Os autores ainda apontam que esta é uma tendência de pesquisa em crescimento também no contexto acadêmico brasileiro da área de Ensino de Ciências. No entanto, Roehrig e Camargo (2013) salientam que, apesar dessa ascensão, não há ainda um impacto significativo de discussões dessa abordagem na sala de aula da escola básica. Nesse sentido,

podemos questionar: Por que tal preocupação em ter uma educação científica pautada por abordagem CTS?

Há na literatura uma variedade de respostas para essa questão, mas concordamos com Bispo Filho et. al (2013) que um dos objetivos de um currículo CTS é auxiliar o entendimento dos estudantes em relação às experiências relacionadas com os fenômenos que os cercam no seu cotidiano, de tal forma que a ciência escolar aproxime o saber tecnológico da vida social. Assim, a perspectiva CTS poderia desenvolver nos estudantes o pensamento crítico, o raciocínio lógico, as tomadas de decisões no preparo para o exercício pleno da cidadania nos âmbitos local, nacional e mundial.

Outros autores como Medina e Sanmartín (1990), afirmam que quando se pretende incluir o enfoque CTS no contexto educacional é importante que alguns objetivos sejam seguidos:

- Questionar as formas herdadas de estudar e atuar sobre a natureza, que merecem uma constante reflexão. Sua legitimação deve ser feita por meio do sistema educativo, pois só assim é possível contextualizar permanentemente os conhecimentos em função das necessidades da sociedade.
- Questionar a distinção convencional entre conhecimento teórico e conhecimento prático - assim como sua distribuição social entre ‘os que pensam’ e ‘os que executam’ – que reflete, por sua vez, um sistema educativo dúbio, que diferencia a educação geral da vocacional.
- Combater a segmentação do conhecimento, em todos os níveis de educação.
- Promover uma autêntica democratização do conhecimento científico e tecnológico, de modo que ela não só se difunda, mas que se integre na atividade produtiva das comunidades de maneira crítica.

Um dos caminhos para a implantação desses objetivos de forma real e efetiva é a modificação da prática docente e discente por meio de estratégias de ensino e aprendizagem. Estratégias que deem possibilidade, por exemplo, de analisar as possíveis consequências biológicas, ambientais e sociais de vários temas CTS, como água, energia, uso da radiação etc. Assim, o objetivo de uma educação com perspectiva CTS está centrado numa educação em ciências em que os estudantes são preparados para o exercício da autonomia na tomada de decisão acerca das questões de ciência e tecnologia.

Quanto a inserção da perspectiva CTS na Educação em Ciências, há várias perspectivas, como as investigações que buscam entender como se dão as relações CTS nos livros didáticos. Viecheneski e colaboradores (2018), empenharam-se em compreender as relações ciência-tecnologia-sociedade em livros didáticos da área de ciências, cujo objetivo foi explorar as características, contribuições e limitações destes materiais para o ensino que tenha abordagem CTS. Uma das conclusões da investigação em questão foi que o espaço reservado para a inserção das dimensões sociais da ciência e da tecnologia nos livros didáticos é insuficiente e esta constatação

pode ser observada não só nos livros brasileiros, mas também nos livros didáticos de outros países. Além disso, os autores consideram relevante um alto grau de criticidade quanto à seleção e também ao uso dos materiais didáticos. Segundo os autores, a formação docente crítica e reflexiva pode ser um espaço adequado para que sejam levantados debates sobre o conteúdo dos livros didáticos e sua utilização em sala de aula.

Indo nesta mesma direção, Fernandes, Pires e Delgado-Iglesias (2018), analisaram se os manuais escolares portugueses de Ciências Naturais do sexto ano, abordam os conteúdos científicos, fazem correlação com os pressupostos CTS e se suas atividades propostas também contemplavam a abordagem CTS. O resultado encontrado foi que o enfoque CTS está contido nos materiais analisados, mas de maneira ainda insatisfatória, sugerindo que esta temática precisa ser mais explorada.

Já no contexto desta investigação, o que nos inquietou foi a forma como o assunto *radiação* é trabalhado nos livros didáticos do Ensino Médio. Nossa motivação foi o fato de o tema radiação ser abordado de maneira bastante superficial, sendo, quase sempre, destinado a ser ensinado nos últimos meses do ano letivo. Para além disso, há um enfoque excessivo aos aspectos relativos aos constituintes do núcleo atômico e às reações de emissões nucleares que, na maioria das vezes, não tem o cuidado de relacionar estes conteúdos ao cotidiano do aluno. Soma-se a estes aspectos, a forma restrita com que a história da radioatividade é apresentada, impossibilitando que o aluno compreenda o processo gradativo da construção desse conhecimento (PINTO; MARQUES, 2010).

Todas essas demandas acabam por camuflar a relevância que o estudo da radioatividade tem para a formação do estudante de Ensino Médio. Isso torna ainda mais delicada a situação do ensino da Radioatividade, “os estudantes apresentam uma concepção de que essa disciplina é complexa, afirmando ser difícil compreender as fórmulas e teorias explicadas pelos professores” (ARAÚJO *et al.*, 2018, p. 162). Antagonicamente, a existência das radiações provoca grande curiosidade na população em geral e isso se deve ao fato de que, ao mesmo passo em que grande parte das pessoas julga a radioatividade como prejudicial à vida, elas também são intrigadas pelos possíveis benefícios em diferentes segmentos de suas vidas.

Para desmistificar esta concepção de que a radioatividade está relacionada, majoritariamente, a aspectos negativos, um dos caminhos é promover mudanças no campo educacional. Neste sentido, um primeiro passo possível é a análise do conteúdo de radioatividade no livro didático, questionando se este recurso didático oportuniza ao educando uma aprendizagem significativa desse conteúdo de forma plural e crítica.

Analisar o livro didático faz sentido, uma vez que este recurso didático, assume também, na maioria dos casos, papel central no processo de ensino e aprendizagem (TAGLIANI, 2011). Pesquisas como as de Silva (2019), Sousa e Sales (2016) e Lobato e Medeiros (2010) dedicaram-se a análise do conteúdo de radiação em livros didáticos e ratificam a importância desta temática para o campo da Educação em Ciências.

Por tudo que foi discutido até aqui, esta investigação apresenta como proposta a análise do conteúdo de radiação dos livros didáticos de Física do Ensino Médio, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015, cujo parâmetro são os pressupostos da abordagem CTS.

Metodologia

Os livros didáticos de Física da 3ª série do Ensino Médio que fazem parte do *corpus* deste trabalho foram escolhidos por serem os 14 materiais selecionados pelo PNLD de 2015 e estão listados abaixo.

L1 - GASPAR, A. **Compreendo a Física**. São Paulo: Ática, 2014.

L2 - ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. **Física**. Curitiba: Positivo, 2013.

L3 - PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física – Conceitos e Contextos: pessoal, social, histórico**. São Paulo: FTD, 2013.

L4 - PIQUEIRA, J. R. C.; CARRON, W.; GUIMARÃES, J. O. S. **Física**. São Paulo: Ática, 2014.

L5 - XAVIER, C.; BARRETO, B. **Física aula por aula**. São Paulo: FTD, 2013.

L6 - MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física contexto & aplicações**. São Paulo: Scipione, 2013.

L7 - BONJORNIO, J. R.; RAMOS, C. M.; PRADO, E.; BONJORNIO, R. F. S. A.; BONJORNIO, V.; BONJORNIO, M. A.; CASEMIRO, R. **Física**. São Paulo: FTD, 2013.

L8 - FILHO, A. G.; TOSCANO, C. **Física Interação e Tecnologia**. São Paulo: Leya, 2013.

L9 - FUKU, L. F.; YAMAMOTO, K. **Física para o Ensino Médio**. São Paulo: Saraiva, 2013.

L10 - DOCA, R. H.; BÔAS, N. V.; BISCUOLA, G. J. **Física**. São Paulo: Saraiva, 2013.

L11 - KANTOR, C. A.; JUNIOR, L. A. P.; MENEZES, L. C.; BONETTI, M. C.; JUNIOR, O. C.; ALVES, V. M. **Quanta Física**. São Paulo: PD, 2010.

L12 - STEFANOVITS, A. **Ser Protagonista**. São Paulo: SM, 2013.

L13 - MARTINI, G.; SPINELLI, W.; REIS, H. C.; SANT'ANNA, B. **Conexões com a Física**. São Paulo: Moderna, 2013.

L14 - TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; PENTEADO, P. C. M. **Física Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2013.

Analisamos a temática do conteúdo de radiação nos livros citados acima sob o enfoque da perspectiva CTS. A abordagem da pesquisa é de caráter qualitativo, uma vez que se busca trabalhar com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos (MARCONI & LAKATOS, 2006). Tomamos como base os indicadores de análise CTS em livros didáticos construídos por Amaral, Xavier e Maciel (2009) que estão explanados no quadro 1.

Quadro 1 - Indicadores de análise CTS em livros didáticos.

Indicador	Relações/Perspectivas CTS	Descrição do indicador
Indicador 1	Ciência/Sociedade	Evita tratar o método de produção científica como conjunto de etapas padronizadas.
Indicador 2	Ciência/Sociedade	Contextualiza historicamente o processo de produção do conhecimento científico.
Indicador 3	Ciência/Sociedade	Atribui a produção do conhecimento científico genericamente a cientistas e/ou grupos de cientistas.
Indicador 4	Ciência/Sociedade	Aborda a aplicação do conhecimento científico pela sociedade.
Indicador 5	Ciência/Tecnologia/ Sociedade	Discute os impactos decorrentes da aplicação do conhecimento científico.
Indicador 6	Ciência/Tecnologia	Aborda o conhecimento científico como base ao desenvolvimento tecnológico.
Indicador 7	Tecnologia/Ciência	Aborda o conhecimento tecnológico como fornecedor de técnicas para o desenvolvimento científico.
Indicador 8	Tecnologia/Sociedade	Aborda a tecnologia como fator para a melhoria das condições de vida.
Indicador 9	Ciência/Sociedade	Vincula o conhecimento científico e outras formas de conhecimento e evita tratá-lo com absoluta supremacia.
Indicador 10	Ciência/Tecnologia/ Sociedade	Evita abordar Ciência – Tecnologia como potencialmente solucionadoras de qualquer problema.

Fonte: Amaral, Xavier e Maciel (2009, p. 105)

Resultados e discussões

Inicialmente, verificamos que das 14 coleções de livros didáticos analisadas, 12 continham o tema radiação em pelo menos um dos três volumes (1, 2, e 3). Os livros que não contemplaram tal temática foram o L6 e o L10. No rol dos livros que trazem o conteúdo de radiação, a análise foi realizada por meio dos indicadores CTS descritos de Amaral, Xavier e Maciel (2009), como apresentados no quadro 1 e o mapa geral no quadro 2.

Quadro 2 - Indicadores das relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) nos livros didáticos do corpus da pesquisa.

Indicador	Relações CTS	L01	L02	L03	L04	L05	L07	L08	L09	L11	L12	L13	L14	Total
Ind. 1	Ciência/Sociedade	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	11
Ind. 2	Ciência/Sociedade	X	X		X		X	X	X	X	X		X	9
Ind. 3	Ciência/Sociedade	X	X	X	X	X		X	X		X		X	9
Ind. 4	Ciência/Sociedade			X	X	X	X	X	X	X	X		X	9

Ind. 5	Ciência/ Tecnologia/ Sociedade		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
Ind. 6	Ciência/ Tecnologia		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Ind. 7	Tecnologia/ Ciência		X	X	X	X	X		X	X	X		X	9
Ind. 8	Tecnologia/ Sociedade			X	X	X	X	X	X	X	X			10
Ind. 9	Ciência/ Sociedade													
Ind. 10	Ciência/ Tecnologia/ Sociedade		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	10

Fonte: Elaborado pelos autores.

Uma análise do quadro 1, mostra que os indicadores que mais se mostraram presentes nos livros didáticos analisados foram os indicadores 1 e 6, aparecendo 11 vezes cada um. Enquanto os indicadores 5, 8 e 10 são contabilizados 10 vezes cada um. Os indicadores 2, 3, 4 e 7 puderam ser quantificados 9 vezes cada um. Dado instigante é que em nossa análise, em nenhum momento, foi identificado o indicador 9, o qual relaciona a Ciência diretamente com a Sociedade.

Verificamos que o indicador 1, está presente no sentido contrário ao apresentado no quadro 1, em todos os livros analisados. O problema fundamental é o uso da palavra descoberta científica em seu sentido positivista e reducionista, o que leva os livros a apresentarem a produção científica como sendo um conjunto de etapas padronizadas. Alguns trechos foram destacados para exemplificar e ratificar esta afirmação:

Atônito, passou a pesquisar sozinho, secretamente, as propriedades daquelas incríveis emanções, que chamou de raios-X. Rontgen logo descobriu que os raios X impressionavam chapas fotográficas, o que permitiu fazer as primeiras radiografias de parte do corpo humano. (L1, GASPARG, 2014, p. 269).

A descoberta da radioatividade está relacionada com a descoberta dos raios X. Em novembro de 1895, o físico alemão Wilhelm Rontgen (1845-1923) estudava efeitos da passagem de correntes elétricas geradas por alta voltagem em tubos de vácuo, quando observou a emissão de um tipo de radiação que gerava efeitos luminosos sobre uma chapa fotográfica. Ele chamou os misteriosos e desconhecidos raios de “raios X”. (L2, ARTUSO; WRUBLEWSKI, 2013, p. 302).

Na França, o físico e químico Paul Ulrich Villard (1860-1934), trabalhando em seu laboratório, descobriu que o feixe inicial se dividia em três radiações distintas, e não em duas como indicado por Rutherford. (L3, PIETROCOLA et al, 2013, p. 261).

As radiações ultravioletas foram descobertas pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) em 1801. As experiências de Ritter com cloreto de prata (AgCl) exposto à luz visível permitiram a conclusão da existência de raios invisíveis, além do violeta, no espectro solar. (L4, PIQUEIRA; CARRON; GUIMARÃES, 2014, p. 184).

As primeiras observações desse fenômeno foram feitas por Henri Becquerel (1852-1908), que percebeu que ao colocar sais de urânio sobre uma placa fotográfica no escuro havia alteração na placa. Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934) também se destacaram nos estudos dessa área com grandes contribuições ao ramo da radioatividade. Os três foram agraciados com o Prêmio Nobel de Física de 1903 pelos trabalhos realizados. (L5, XAVIER; BARRETO, 2013, p. 297).

A descoberta da radioatividade aconteceu em maio de 1856. O físico francês Antoine Becquerel apresentou à Academia de Ciências de Paris um documento em que relatou seus trabalhos com minérios que continham sais de urânio. (L7, MÁXIMO; ALVARENGA, 2013, p. 271).

Em uma experiência histórica realizada no início do século XX, Ernest Rutherford bombardeou uma lâmina de ouro com partículas α e descobriu que as forças nucleares se manifestam apenas para distâncias de até 10^{-15} m entre as partículas. (L8, FILHO; TOSCANO, 2013, p. 176).

J. J. Thomson descobriu assim, a existência do elétron, partícula subatômica constituinte universal da matéria. (L11, KANTOR et al, 2010, p. 24).

[...] Wilhelm Roentgen (1845-1923) descobriu os raios X em 1896, por meio de experimentos. (L12, STEFANOVITS, 2013, p. 257).

Esse tipo de radiação, descoberto em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), recebeu a denominação raios “X” porque sua natureza era desconhecida. (L13, MARTINI et al, 2013, p. 220).

O ano de 1896, ano da descoberta da radioatividade pelo físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908), marca o nascimento da Física Nuclear. (L14, TORRES et al, 2013, p. 262).

Como podemos ver, nos fragmentos acima, os livros apresentam uma visão de ciência empirista, principalmente, em relação ao uso do termo descoberta. Apresenta a “descoberta” da radiação sem mostrar o complexo desenvolvimento teórico, experimental, as motivações que levaram os cientistas a chegarem ao desenvolvimento do corpo teórico que sustenta o conteúdo científico-tecnológico da radiação. Assim, a ideia de “descoberta” é colocada como se fosse um produto, pronto e acabado.

Quando mencionam algum processo de descoberta, reforçam o que Gil (1999) alerta e critica, a ideia de que a ciência tem um método científico definido, como um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos utilizados para atingir o conhecimento. No entanto, o autor esclarece que, atualmente, considera-se que existe uma diversidade de métodos, que são determinados pelo tipo de objeto a pesquisar e pelas proposições a descobrir, além do contexto, deve-se, de fato, evitar transmitir aos educandos que existem passos universais para a descoberta científica.

O indicador 2 aponta a presença do desenvolvimento histórico e o impacto do contexto sociocultural do episódio científico (CARVALHO, 1998). No entanto, este indicador não está

presente nos livros L3, L5 e L13, logo, estes autores desprivilegiam a abordagem histórica. Entretanto, os outros livros fazem a abordagem histórica como indicado nos fragmentos abaixo:

Becquerel tentou em princípio obter a emissão de raios X diretamente das substâncias luminescentes que pesquisava, como alguns sais de urânio, mas não obteve sucesso. Resolveu então verificar a hipótese de essas substâncias emitirem raios X quando irradiadas por uma fonte intensa de luz, como o Sol. Para isso, pôs uma chapa fotográfica entre duas folhas grossas de papel preto, colocou um pouco de pó de um sal de urânio sobre uma das folhas e as expôs ao Sol. A chapa, quando revelada, mostrou com nitidez a silhueta da amostra de sal. Becquerel concluiu que aquele sal de urânio, iluminado pelo Sol, emitia raios. (L1, GASPAR, 2014, p. 269).

É a teoria dos quarks (nome retirado do último romance de James Joyce, intitulado *Finnegans Wake*), desenvolvida independentemente pelo físico americano Murray Gell-Mann (1929-), e pelo físico e neurobiólogo russo George Zweig (1937-) em 1964. Os quarks são tidos como partículas elementares, indivisíveis, tomadas como tendo raio nulo, ou seja, são pontos geométricos perfeitos. Porém, até hoje só são conhecidas em estados ligados, isto é, formando outras partículas. Nunca foram observados quarks isolados. (L2, ARTUSO; WRUBLEWSKI, 2013, p. 292).

No começo do século XX - primórdios da radioatividade – os riscos das radiações ionizantes não eram conhecidos. Prova desse desconhecimento é que Marie Curie morreu de leucemia, em decorrência da longa exposição a elementos radiativos. (L4, PIQUEIRA; CARRON; GUIMARÃES, 2014, p. 235).

[...] Na época do descobrimento desse fenômeno, não se sabia desse perigo e o laboratório dos Curie não tinha proteção. [...] Ao contrário do marido, Marie sofreu com a exposição aos elementos radioativos. Ela, que tanto defendeu o uso medicinal do rádio – inclusive como analgésico – morreu em 1934, perto de Salanches, na França, de leucemia. (L7, MÁXIMO; ALVARENGA, 2013, p. 272).

Num primeiro momento, substâncias radioativas como o urânio, o polônio e o rádio despertavam a curiosidade dos cientistas, pois quando purificadas, emitiam um brilho, até então, misterioso. Elas eram utilizadas para brilhar no escuro também para combater algumas doenças. Nessa época, os efeitos nocivos da radiação eram totalmente desconhecidos e 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. (L8, FILHO; TOSCANO, 2013, p. 176).

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 (L9, FUKU; YAMAMOTO, 2013, p. 280).

Uma indicação da existência de partículas subatômicas surgiu, em meados do século XIX, com o estudo de descargas elétricas em tubos de vácuo, precursores dos modernos tubos de imagem de TVs e monitores de computador (L11, KANTOR et al, 2010, p. 24).

Dois meses depois, Antoine Henri Becquerel (1852- 1908) idealizou um experimento para investigar se existia algum elemento na natureza que emitia raios X e outros tipos de radiação de forma espontânea. Nesse experimento, ele verificou a sensibilização de um filme fotográfico mediante amostras de diversos materiais. Os resultados obtidos por Becquerel mostraram que a maioria dos elementos testados não sensibilizava o filme. Apenas o urânio emitia a radiação sem que fosse necessário nenhum tipo de ação externa. (L12, STEFANOVITS, 2013, p. 257).

Na primeira metade do século XX, a Física Nuclear teve enorme desenvolvimento, exercendo a notável influência científica, social e tecnológica sobre a humanidade. Após a construção do primeiro reator nuclear, em dezembro de 1942, destinado à pesquisa científica, a fabricação da primeira bomba atômica foi só uma questão de tempo. (L14, TORRES et al, 2013, p. 262).

A partir dos fragmentos descritos, podemos perceber uma contextualização histórica internalista do episódio da radiação, em que é dada ênfase a elementos lógicos do conhecimento, como, por exemplo, os experimentos. Além disso, tal contextualização é, em sua maioria, descritiva e com exceção dos livros L1, L8 e L12, não explicitam os elementos motivacionais que levaram o cientista a estudar os diversos fenômenos da radiação. Há apenas pequenos excertos superficiais de elementos externalistas, como a questão dos malefícios e impactos tecnológicos oriundos do estudo da radiação. Neste sentido, há a necessidade dos autores explicitarem os elementos externalistas dos episódios científicos, demanda que é reforçada para a Educação em Ciências por Sepini e Maciel (2016).

O indicador 3 não está presente nos livros L7, L11 e L13, porém, nos demais materiais, os autores reconhecem que o estudo científico da radiação foi realizado por um conjunto de pesquisadores⁶, desmistificando a visão de que a construção do conhecimento científico é feita somente por cientistas isolados. Trechos dos livros que apresentam o indicador 3 estão expostos abaixo:

Marie foi tão bem-sucedida em seu trabalho que, em pouco tempo, seu marido abandonou sua área de pesquisa para apoiá-la. Juntos, e com Becquerel, dividiram o prêmio Nobel de Física de 1903. (L1, GASPAR, 2014, p. 270).

Nos anos seguintes, Becquerel e o casal Pierre Curie (1859-1906), físico francês, e Marie Curie (1867-1934), física e química polonesa, estudando a radioatividade, descobriram os elementos químicos polônio e rádio. Pelos estudos na área, os três ganharam o Prêmio Nobel de Física de 1903 e pelos seus serviços para o avanço da Química, Marie Curie, a primeira mulher a ganhar um Nobel, também foi premiada com o de química em 1911, tornando-se também a primeira pessoa a ganhar duas vezes o prêmio. (L2, ARTUSO; WRUBLEWSKI, p. 303).

⁶ Estamos considerando, o Casal Curie sendo formado por um conjunto de pesquisadores

[...] Essa não foi a primeira vez que se impressionaram chapas fotográficas com as radiações de sais de urânio. Trinta anos antes, Abel Niepce de Saint Victor (1805-1870) já havia feito essa mesma descoberta, mas na época ainda não existiam conhecimento que permitissem obter conclusões sobre isso. (L3, PIETROCOLA et al, 2013, p. 260).

A descoberta da fissão nuclear no final de 1938 é atribuída aos físico-químicos alemães Otto Hahn, Prêmio Nobel de Química de 1944, e Fritz Strassmann (1902-1980). Para a explicação desse fenômeno, eles contaram com a colaboração da física austríaca Lise Meitner e de seu sobrinho, o físico austríaco Otto R. Frisch (1904-1979). (L4, PIQUEIRA; CARRON; GUIMARÃES, 2014, p. 246).

Ao final de 1897, a polonesa radicada em Paris, Marie Salomea Sklodowska (1867-1934), licenciada em Ciências Físicas (1893) e Ciências Matemáticas (1894), ficou impressionada com a descoberta de Becquerel e iniciou com Pierre Curie (1859-1906) um imenso e exaustivo trabalho de investigação sobre essa radiação. Após se casarem, ambos se dedicaram ao estudo do fenômeno, fazendo descobertas importantes, entre elas a de que o elemento tório também emitia essas radiações e que um composto do urânio, a pechblenda, era muito mais ativo que o próprio urânio. Os dois cientistas conseguiram separar os dois novos elementos químicos, que receberam o nome de polônio e de rádio. (L5, XAVIER; BARRETO, 2013, p. 271).

Os modelos atômicos imaginados por Thomson (1856-1940), Ernest Rutherford (1871-1937) e Bohr (1885-1962) deram a base para a compreensão da estrutura da matéria. Porém, muitas perguntas surgiram e ainda precisavam ser respondidas, principalmente quando se diz respeito à estabilidade do núcleo atômico. (L8, FILHO; TOSCANO, 2013, p. 175).

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. 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 conseguiu detectar uma partícula prevista teoricamente por Paul Dirac, que tinha a mesma massa do elétron, porém com carga positiva. (L9, FUKU; YAMAMOTO, 2013, p. 279).

Com o passar do tempo, foram descobertos outros elementos com propriedade semelhante à do urânio. O tório teve suas propriedades radioativas descobertas em 1898, por Gerhard Carl Schmidt (1865-1949) e Marie Curie (1867-1934), que pesquisaram de modo independente. O polônio e o rádio foram descobertos em 1898 pelo casal Pierre (1859-1906) e Marie Curie. (L12, STEFANOVITS, 2013, p. 257).

Por essa evolução no uso dos raios X, o inglês Godfrey Newbold Hounsfield e o sul-africano, naturalizado estadunidense, Allan MacLeod Cormack, inventores do tomógrafo, receberam o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina em 1979. (L14, TORRES et al, 2013, p. 262, p. 147).

Quanto ao indicador 4, identificamos sua presença em oito livros, sendo eles L4, L5, L7,

L8, L9, L11, L12 e L14. Uma vez que este indicador aborda a aplicação do conhecimento científico pela sociedade, atentamo-nos que os livros L3 e L9 abordam, especificamente, a aplicação do conhecimento científico em áreas de energia nuclear e na conservação de alimentos:

A exposição excessiva aos raios X é prejudicial para os tecidos humanos. Pode provocar lesões, manchas na pele e até mesmo o câncer. Por essa razão, o uso de radiografias deve ser rigorosamente controlado e os equipamentos muito bem calibrados, para que tanto o paciente quanto o técnico em radiologia estejam seguros. Quando possível, as radiografias devem ser substituídas por outros mecanismos de diagnóstico, como o ultrassom, que é inofensivo para o ser humano. (L4, PIQUEIRA; CARRON; GUIMARÃES, 2014, p. 186).

Os conhecimentos adquiridos sobre a energia nuclear precisam ser tecnologicamente aproveitados sob um olhar que analise os aspectos de risco e de benefício trazidos por eles.

[...]

É preciso que se considere o benefício conseguido para a sociedade em áreas como pesquisa, indústria e medicina. Entre esses benefícios estão, por exemplo, a geração de 20% da energia elétrica mundial e o tratamento de doenças como o câncer. (L5, XAVIER; BARRETO, 2013, p. 300).

Os radioisótopos traçadores são usados em Medicina para o diagnóstico de doenças, informações do estado de certos órgãos e tratamento de câncer. (L7, MÁXIMO; ALVARENGA, 2013, p. 281).

Os elementos radioativos naturais possuem meias-vidas elevadas, como no caso do carbono-14 (um isótopo do carbono-12, porém instável ou radioativo devido à presença de dois nêutrons a mais), que é aproximadamente 5730 anos. Já iodo-123 (isótopo do iodo obtido artificialmente), empregado como radiofármaco em exames da glândula tireoide, tem meia-vida de apenas oito dias. (L8, FILHO; TOSCANO, 2013, p. 177).

A interação da radiação com a matéria pode ter várias utilidades, por exemplo, na irradiação de alimentos. Essa prática pode impedir a multiplicação de microorganismos em alguns alimentos, como carnes e vegetais, por um tempo determinado e em doses muito bem controladas; os efeitos desejados são impedir a multiplicação de microorganismos que causam a deterioração do alimento, tais como bactérias e fungos, por alterações em sua estrutura celular, e retardar a maturação de frutas, o brotamento de raízes ou a deterioração de cereais por alterações no processo fisiológico dos tecidos da planta. (L9, FUKU; YAMAMOTO, 2013, p. 292).

Por serem completamente desconhecidos e de existência inesperada, foram chamados de raios X e provocaram deslumbramento em todo o mundo, sendo rapidamente utilizados na medicina e em outras atividades; somente mais tarde se descobriu o efeito nocivo dos raios X nos organismos que sofreram prolongadas exposições a eles. (L11, KANTOR et al, 2010, p. 25).

As substâncias radioativas também podem ser aplicadas no combate à dor, porém o mais usual é a aplicação de radiação ionizante no combate ao câncer, processo conhecido como radioterapia. (L12, STEFANOVITS, 2013, p. 262).

Tratamentos com raio X e os raios gama, em conjunto com a quimioterapia, são largamente usados, assim como a utilização de métodos baseados nos efeitos radioativos, com feixes de nêutrons, prótons e íons. (L14, TORRES et

al, 2013, p. 271).

É notório a semelhança de exemplos de aplicação do conhecimento científico da radiação nos livros didáticos analisados; isso sugere que os autores possam em novas edições dos livros diversificar melhor as aplicações do conhecimento científico da radiação na sociedade, como por exemplo, os fundamentos científicos dos termômetros de radiação e seu uso pela população. Por outro lado, Abrantes & Martins (2007, p. 321) discutem que “na apreensão da relação entre a aplicação do conhecimento produzido e o processo de produção do conhecimento, não nos é possível isolar nenhum destes polos, apesar de haver especificidades referentes a cada um deles”. Neste sentido, a presença do indicador 4 nos livros didáticos analisados é bastante relevante, pois mesmo que de forma linear e acrítica, evidencia a relação entre o avanço da ciência e o desenvolvimento da sociedade, bem como coloca a produção da ciência como patrimônio, efetivamente, aplicado ao contexto social e não como um amontoado de conceitos e pesquisas que só fazem sentido aos cientistas.

Entretanto, a discussão que trata dos impactos decorrentes da aplicação do conhecimento científico na tecnologia e sociedade (indicador 5), não é detectado nos livros L1 e L13, sugerindo que estes, por exemplo, não citam os impactos e acidentes nucleares que já ocorreram ao longo da história. Os que tentam abordar essa tríade fazem de forma reducionista das relações CTS, como podemos ver nas citações:

O tsunami que atingiu o Japão em 11 de março de 2011 também comprometeu a segurança da estação nuclear em Fukushima. A planta inteira foi inundada, os sistemas de resfriamento foram desativados, e os reatores começaram a superaquecer, ocasionando explosões e incêndios, provocando o vazamento de radionúcleos (L2, ARTUSO; WRUBLEWSKI, p. 309).

No Brasil, em 1987, houve um exemplo de descuido na utilização de material radioativo: o vazamento de uma fonte de césio-137 em Goiânia, no estado de Goiás. Uma fonte radioativa desativada foi jogada em um depósito de materiais, onde ocorreu a manipulação errada que causou a desastrosa contaminação. (L3, PIETROCOLA et al, 2013, p. 270).

O primeiro ponto diz respeito aos produtos da fissão: resíduos radioativos inerentes ao processo de fusão que também são conhecidos como lixo atômico. Além de alguns serem altamente tóxicos, são responsáveis por uma atividade radioativa que pode chegar a milhares de anos, em alguns casos. (L4, PIQUEIRA; CARRON; GUIMARÃES, p. 252).

Embora o foco das atenções esteja geralmente voltado para as armas atômicas e as usinas nucleares, devemos considerar também outros setores da atividade humana que fazem uso de material radioativo, como a indústria e a medicina. Um exemplo disso ocorre com os aparelhos de raios X, que, ao serem descartados, precisam de locais apropriados para armazenamento, que contêm material radioativo (césio-137, por exemplo). Para evitar os possíveis problemas causados pelo vazamento do material radioativo, todos os países devem manter o controle e o gerenciamento dos depósitos destinados aos seus rejeitos atômicos. (L5,

XAVIER; BARRETO, 2013, p. 304).

Um dos problemas gerados nas usinas nucleares é o lixo atômico, composto de elementos radioativos que são subprodutos da fissão nuclear, como o céσιο, o estrôncio e o plutônio. (L7, MÁXIMO; ALVARENGA, 2013, p. 287).

Para o céσιο-137, o problema é outro: este elemento tem meia-vida média de 30 anos. No caso do acidente radioativo de Goiânia, ocorrido em setembro de 1987, quando coletores de papel e sucata encontraram sob as ruínas do Instituto Goiano de Radioterapia uma caixa de aço e chumbo contendo uma amostra de cloreto de céσιο-137, o grande período de meia-vida tornou a amostra radioativa potencialmente perigosa por muito tempo. (L8, FILHO; TOSCANO, 2013, p. 177).

No entanto, diversas descobertas nas ciências médicas foram feitas graças às tecnologias criadas durante os estudos para se produzir a bomba atômica. Essas novas tecnologias ajudam na identificação e na cura de doenças graves em milhões de pessoas no mundo. (L9, FUKU; YAMAMOTO, 2013, p. 277).

Essas mutações promoveram a biodiversidade necessária para a evolução das espécies, mas também são responsáveis por vários tipos de más formações celulares, principalmente aquelas conhecidas como câncer. Assim, a radiação que diagnostica e que cura não é nada diferente da que prejudica e mata. (L11, KANTOR et al, 2010, p. 87).

Os reatores nucleares de fissão devem ser projetados de maneira que seja possível conter radiação, para não haver contaminação do ambiente e das pessoas no entorno, e ainda prevenir ao máximo a ocorrência de acidentes. (L12, STEFANOVITS, 2013, p. 263).

Uma das maiores preocupações no uso pacífico da energia nuclear é a possibilidade de ocorrer acidente. A radiação liberada no meio ambiente pode tanto ferir gravemente como matar pessoas e outros seres vivos. Os acidentes mais sérios com o uso da energia nuclear ocorreram no reator número 2 da usina de Three Mile Island, na Pensilvânia, Estados Unidos, em 28 de março de 1979, e no reator número 4 da usina de Chernobyl, a 130 km ao norte de Kiev, na Ucrânia, em 26 de abril de 1986. (L14, TORRES et al, 2013, p. 276).

A partir dos fragmentos dos livros listados, somente os livros L2 e L3 apresentam uma boa articulação entre a tríade CTS. No entanto, para evitar um sensacionalismo, ressaltamos que os exemplos destacados dos livros L2 e L3 tratam de acidentes, não devem ser lidos como sinônimos de impactos negativos. Os impactos devem ser analisados para além dos acidentes, como, por exemplo, na tomada de decisão do uso, ou, não dessa fonte energética levando em consideração nessa reflexão os aspectos econômicos, sociais e ambientais como a flora, fauna, rios, mares, regiões de minérios e a população local e global.

Auth e Angotti (2001, p. 15), destacam que “a crescente evolução e utilização de novas tecnologias vem acarretando profundas mudanças no meio ambiente, nas relações e nos modos de vida da população”, residindo aí a relevância do quinto indicador, uma vez que este contexto expõe os cidadãos a novos desafios; os quais, grande parte da população não foi orientada durante sua

jornada escolar para confrontar. Ainda segundo os autores, para superar este cenário é preciso direcionar o processo de ensino e aprendizagem para que a alfabetização científica e tecnológica conduza ao questionamento das concepções, valores e atitudes dos indivíduos em seus contextos sociais.

O indicador 6 não está presente apenas no L1. Nos demais livros, verificamos a preocupação dos autores em destacar o conhecimento científico da radiação e suas aplicações tecnológicas. Vejamos abaixo alguns fragmentos:

O aparelho de ressonância magnética, por exemplo, faz uso de níveis de energia do núcleo dos átomos para gerar imagens. (L2, ARTUSO; WRUBLEWSKI, 2013, p. 302).

Quando apresentou o resultado de seu trabalho, em 1896, Rontgen demonstrou como o raio X podia atravessar o corpo de uma pessoa, mas não os ossos. Aparecia então a primeira chapa de radiografia da história, com uma mão humana. No fim desse ano, mais de mil trabalhos foram publicados sobre o tema. [...] Ao tomar conhecimento da descoberta dos raios X, o físico francês Henri Becquerel (1820-1908), fascinando, no mesmo ano de 1896, estabeleceu que sais de urânio emitiam radiações análogas ao raio X e que também impressionam chapas fotográficas. (L3, PIETROCOLA et al, 2013, p. 260).

A primeira aplicação das radiações na Medicina foi o raio-X. Ele propiciou um grande avanço nos diagnósticos por imagem e iniciou um grande campo na área médica, conhecida como **radiologia**, que compreende a radiologia diagnóstica, a radioterapia e a Medicina nuclear. (L4, PIQUEIRA; CARRON; GUIMARÃES, 2014, p. 237).

Em algumas áreas da medicina, como na oncologia, o tratamento do câncer tem evoluído tecnicamente e conseguido melhores resultados e menores efeitos colaterais com o uso de radiofármacos, provocando o aumento da utilização desses produtos. A necessidade de aperfeiçoar o controle de qualidade tem estimulado a indústria a buscar novas técnicas com materiais radioativos. Para atender a essa necessidade crescente, os processos de análise não destrutivas com radiações têm sido cada vez mais usados. (L5, XAVIER; BARRETO, 2013, p. 304).

A medicina e a agricultura são exemplos de áreas que utilizam aplicações decorrentes do estudo da Física Nuclear. Na agricultura, esses conhecimentos são usados tanto para o controle de pragas quanto para a conservação de alimentos. Na medicina, a tecnologia de radiofármacos, usados em diagnósticos, em tratamentos de tumores e na descoberta do mal funcionamento do organismo, é bastante desenvolvida no Brasil e largamente utilizada. (L7, MÁXIMO; ALVARENGA, 2013, p. 289).

O iodo-123 preparado para os exames de cintilografia tireoidiana tem meia-vida de oito dias, portanto, quando um hospital ou clínica de exames adquire certa quantidade deste material, é preciso haver um bom planejamento para que o produto seja bem utilizado enquanto estiver ativo. (L8, FILHO; TOSCANO, 2013, p. 177).

A interação da radiação com a matéria pode ter várias utilidades, por exemplo, na irradiação de alimentos. Essa prática pode impedir a multiplicação de microrganismos em alguns alimentos, como carnes e vegetais, por um tempo

determinado e em doses muito bem controladas; os efeitos desejados são impedir a multiplicação de microrganismos que causam a deterioração do alimento, tais como bactérias e fungos, por alterações em sua estrutura celular, e retardar a maturação de frutas, o brotamento de raízes ou a deterioração de cereais por alterações no processo fisiológico dos tecidos da planta. (L9, FUKU; YAMAMOTO, 2013, p. 292).

As radiações de alta frequência são também empregadas em tratamento radioterápico de tumores para destruir células cancerígenas. (L11, KANTOR et al, 2010, p. 18).

Uma técnica bastante utilizada na indústria é a gamagrafia, semelhante à radiografia, porém com uso de raios gama em lugar dos raios X. Consiste na emissão de raios gama através de corpos ou superfícies e na impressão desses raios em um filme fotográfico. (L12, STEFANOVITS, 2013, p. 262).

Ainda na medicina, os raios X são utilizados no tratamento complementar de alguns tipos de câncer. Mas a indústria também os emprega, principalmente na análise de estruturas de corpos sólidos. São amplamente usados pela indústria aeronáutica, por exemplo, para verificar a presença de trincas e fadigas em estruturas das asas das aeronaves, prevenindo possíveis acidentes. (L13, MARTINI et al, 2013, p. 221).

A emissão de raios γ por núcleos radioativos tem outra importante aplicação no campo da Medicina Nuclear: o mapeamento por radioisótopos. Esta é uma técnica de diagnóstico que detecta a radiação emitida por substâncias radioativas – os chamados radioisótopos –, como iodo ou bário, introduzidas no corpo. Ingeridos por via oral ou injetados na corrente sanguínea, os radioisótopos concentram-se de formas diferentes nos diversos órgãos e tecidos do corpo e, dessa maneira, áreas específicas acabam por se destacar da vizinhança e podem ser estudadas facilmente. (L14, TORRES et al, 2013, p. 149).

O indicador 6 trata da abordagem do conhecimento científico como base do desenvolvimento tecnológico e sua presença em quase todos os livros é um aspecto positivo, uma vez que mostra a aplicação direta da ciência na tecnologia. Atentar-se a este quesito propicia que o aluno tenha interação com os elementos científicos e tecnológicos que fazem parte de sua vida social (AMARAL, XAVIER, MACIEL, 2009).

É importante que se evite a propagação do pensamento de que a ciência simplesmente se transforma em tecnologia através de sua aplicação direta, pois, segundo Fourez (2003), induz as pessoas a ignorar outras vertentes inter-relacionadas à tecnologia, assim como a economia, a política, a história e tantos outros.

A presença do indicador 7 - abordagem do conhecimento tecnológico como fornecedor de técnicas para o desenvolvimento científico - foi detectada em nove livros, sendo que somente no L3 identificamos que os autores discorrem sobre o conhecimento tecnológico como fornecedor de técnicas para o uso da energia nuclear e no processo de detecção de neutrinos. Os livros, nos quais não se constatou o indicador 7, foram o L1, L8 e L13:

A tomografia por emissão de pósitrons (PET) é uma das aplicações médicas da Física Moderna. Por ser um método de diagnóstico por imagens não invasivo, é utilizada em especial para se investigar o cérebro e para identificar tumores. (L2, ARTUSO; WRUBLEWSKI, 2013, p. 289).

Trata-se de um grande tanque de aço inoxidável com 39 m de diâmetro e 42 m de altura preenchido com 50 mil toneladas de água pura. Nas paredes, são instalados fotomultiplicadores com o propósito de revelar as propriedades dos neutrinos por meio da interação dos neutrinos solares e atmosféricos com a água. Esse tipo de observação permite que conheçamos as reações dentro do Sol e os mecanismos da explosão das estrelas. (L3, PIETROCOLA et al, 2013, p. 263).

Com o desenvolvimento das radiografias, tornou-se possível diagnosticar pequenas anormalidades nos tecidos, como fraturas ósseas, por exemplo. Radiografias de cavidades, como os pulmões, são particularmente eficientes, pois o ar é bem mais transparente que os tecidos biológicos, permitindo, assim, alto contraste. Em vista disso, pouco depois de serem descobertos, os raios X se transformaram no mais importante meio de diagnóstico da tuberculose. (L4, PIQUEIRA; CARRON; GUIMARÃES, 2014, p. 186).

Embora o foco das atenções esteja geralmente voltado para as armas atômicas e as usinas nucleares, devemos considerar também outros setores da atividade humana que fazem uso de material radioativo, como indústria e a medicina. Um exemplo disso ocorre com os aparelhos de raios X, que, ao serem descartados, precisam de locais apropriados para armazenamento, pois contêm material radioativo (césio-137, por exemplo). Para evitar os possíveis problemas causados pelo vazamento do material radioativo, todos os países devem manter o controle e o gerenciamento dos depósitos destinados aos seus rejeitos atômicos. Mesmo com os altos investimentos mundiais na tentativa de tornar não radioativos esses resíduos, ainda precisamos avançar muito até que esse objetivo seja alcançado. (L5, XAVIER; BARRETO, 2013, p. 304).

Cerca de uma década depois da tomografia computadorizada (exame no qual a fonte de raios X gira em torno do paciente, gerando imagens de “fatias” de corpo humano) entrar em funcionamento, surgiu a ressonância nuclear magnética, outra técnica para obter imagens “fatiadas” do corpo humano- na época, o termo “nuclear” acabou omitido, por causa da conotação negativa que a palavra ganhou no final da década de 1970 em função das usinas nucleares. (L7, MÁXIMO; ALVARENGA, 2013, p. 282).

É uma técnica que pode resolver problemas específicos importantes e complementar outras tecnologias e representa uma grande promessa no controle de doenças originárias de alimentos e na desinfestação, em que os insetos consomem uma grande porcentagem da safra colhida. (L9, FUKU; YAMAMOTO, 2013, p. 293).

Há ainda uma crescente variedade de usos diagnósticos de radiações cada vez mais sofisticados, que permitem a observação do metabolismo humano em ação, como no caso da realização de raios X sucessivos, observados e filmados em equipamentos de TV, em organismos nos quais estão sendo injetados fluidos radiopacos, por exemplo, no sistema circulatório ou respiratório. Ainda mais surpreendente é a chamada cintilografia obtida pela injeção de substâncias orgânicas “marcadas” por elementos radioativos que, à sua passagem, emitem a radiação vista externamente por equipamentos de radioterapia. (L11, KANTOR et al, 2010, p. 90).

Para diagnosticar certas enfermidades, a medicina nuclear possibilita visualizar tanto a anatomia quanto as funções do organismo. (L12, STEFANOVITS, 2013, p. 262).

Um escâner mede a radioatividade emitida por todo o corpo do paciente e cria uma imagem tridimensional do órgão estudado. A TEP é usada no acompanhamento de tumores de rápido crescimento para analisar respostas a tratamentos radioterápicos e quimioterápicos. (L14, TORRES et al, 2013, p. 271).

Uma vez compreendendo a importância da existência de uma relação de “mão dupla” entre Ciência e Tecnologia, acreditamos que devam existir mecanismos que favoreçam uma relação de produção mútua entre esses dois polos. Neste contexto, torna-se ainda mais importante que o livro didático explicitasse essas duas relações mutuamente.

Como podemos ver no quadro 2 e nos fragmentos abaixo, com exceção dos livros L1, L2, L13 e L14, há a presença do indicador 8 na maioria dos livros, isso contribui no entendimento dos malefícios e os benefícios da Ciência e Tecnologia e é de fundamental importância para uma educação Científica-Tecnológica que visa o exercício da cidadania:

Rontgen recebeu em 1901 o prêmio Nobel da Física. O impacto de seu trabalho foi tremendo na Medicina, mas ele recusou todo e qualquer ganho financeiro por sua descoberta, declarando que as descobertas científicas deveriam ser distribuídas livremente para todos. (L3, PIETROCOLA et al, 2013, p. 260).

Existem, também, fontes de radiação que foram desenvolvidas na busca de uma melhor qualidade de vida: as utilizadas em diagnósticos, em terapias, na indústria, nos laboratórios de pesquisas, nos tubos de televisão, nos relógios luminosos, etc. O excesso de exposição a essas fontes é muito prejudicial à saúde humana. (L4, PIQUEIRA; CARRON; GUIMARÃES, 2014, p. 236).

Os cuidados e o desenvolvimento de técnicas para lidar com esse tipo de lixo estão diretamente vinculados à preservação do equilíbrio ambiental e à saúde de todos os seres vivos do planeta. A Ciência tem avançado bastante por meio de pesquisas a respeito dos efeitos das radiações sobre a saúde humana. (L5, XAVIER; BARRETO, 2013, p. 304).

Na Medicina, além de serem usados em diagnósticos, os raios X são empregados no tratamento do câncer, uma vez que as células afetadas parecem ser mais sensíveis à radiação do que as células normais. Na indústria, são utilizadas para detectar pequenos defeitos em corpos metálicos. (L7, MÁXIMO; ALVARENGA, 2013, p. 209).

Hoje, a radioterapia é uma ciência bastante desenvolvida e muito utilizada no tratamento de câncer, pois ao interagir com o tecido humano, a radiação, ataca as células e não permite que elas se dupliquem. No caso de células cancerosas, o tumor para de se desenvolver e pode ser eliminado. (L8, FILHO; TOSCANO, 2013, p. 176).

No entanto, diversas descobertas nas ciências médicas foram feitas graças às tecnologias criadas durante os estudos para se produzir a bomba atômica. Essas novas tecnologias ajudam na identificação e na cura de doenças graves em milhões de pessoas no mundo. (L9, FUKU; YAMAMOTO, 2013, p. 277).

Nos processos industriais, é comum o uso de radiações tanto no controle da produção quanto na prevenção de acidentes. (L11, KANTOR et al, 2010, p. 19).

Atualmente, os efeitos da radiação são conhecidos, e em todo ambiente onde há radiação adotam-se procedimentos de segurança, chamados de proteção radiológica. Procedimentos desse tipo visam a evitar que os trabalhadores e usuários sejam expostos a doses de radiação prejudiciais à saúde. (L12, STEFANOVITS, 2013, p. 261).

Pelos fragmentos, poucos livros apresentam a dicotomia malefícios/benefícios para a saúde humana, somente os livros L4, L9 e L12 é que procuram ponderar estes dois polos. Salientamos que é de grande importância que os textos didáticos façam uma abordagem crítica, a fim de apontar caminhos que subsidiem práticas de professores e estudantes, visando a tomada de decisão em sociedade, sobre os malefícios e benefícios da radiação.

O indicador 9 não foi constatado em nenhum dos livros que compõe o corpus desta pesquisa, isto revela que estes materiais não abordam a vinculação do conhecimento científico com outras formas de conhecimento que é um campo para ainda ser explorado. Apesar das contextualizações detectadas na análise dos outros indicadores, este resultado sugere uma visão cientificista dos autores que escreveram estes livros. Amaral e colaboradores (2009), já observavam que os autores não se atentavam ao indicador 9 nos livros de química publicados em 2005, o que mostra que ainda há uma tendência dos autores de tratar a ciência com absoluta supremacia.

Os livros L1 e L13 não contemplam o indicador 10, ou seja, estes materiais não evitam abordar a Ciência e Tecnologia como potencialmente solucionadoras de qualquer problema. No entanto, um aspecto positivo é que estes materiais, mesmo que de forma reducionista, apresentam o contexto histórico do tema radiação. Com exceção destes dois livros, os demais apresentam fatores positivos e negativos quanto aos impactos científicos tecnológicos do conteúdo de radiações para aspectos de relevância social.

Na maioria dos livros analisados, a inserção da abordagem CTS acontece por meio de imagens ou em quadros isolados nas laterais dos livros, tal prática acaba representando um obstáculo epistemológico para a relação direta deste assunto com a realidade do aluno. Nos livros L1 e L13, por exemplo, os autores abordam o conteúdo de radiação de forma bastante sucinta. No L1 o conteúdo não aborda aspectos relevantes que possibilitem a abordagem CTS, induzindo que a relação ocorra somente entre ciência e tecnologia, excluindo-se, desta forma, o fator social. Já no L13 a radiação é abordada como ondas eletromagnéticas e apresenta apenas três parágrafos do tema de raios-X. A única relação observada se faz por meio de uma imagem de radiografia. Em suma, estes foram os dois livros que menos apresentaram tendências de CTS.

Nas obras L12 e L11 os autores abordam a relação existente entre a abordagem CTS e ocorre a dinamicidade entre a ciência e tecnologia com enfoque na sociedade. Nestes livros, os

autores apresentam, no primeiro capítulo, o assunto de radiações e sempre que necessário, os autores retomam o assunto.

Uma demanda verificada foi a falta de uma abordagem histórica com elementos externalistas e internalistas mais ponderados. Quando os livros relatam o processo histórico da radiação reduzem a uma visão meramente internalista, linear e com características empiristas, o que não contribui para a compreensão do complexo processo de construção do conhecimento científico-tecnológico.

Ao comparar os resultados obtidos nesta investigação com os de Amaral, Xavier e Maciel (2009), ambos convergem em apontar que nem todas as obras contemplam um nível mais profundo das relações entre o conhecimento científico, tecnológico e suas aplicações na sociedade. Outro fator importante é que o livro didático sozinho não tem potencialidade de possibilitar a formação de um cidadão ativo na sociedade. É necessária uma mobilização social mais ampla, com iniciativa de políticas públicas, que dê condições para a escola e seus agentes, como o professor, buscar uma formação permanente no que tange a análise e produção de recursos didáticos que consigam atender as várias demandas da sala de aula e sociedade.

Considerações finais

O que é predominante nas obras analisadas é uma visão da razão instrumental em que as aplicações tecnológicas da radiação propiciam melhoria nas condições sociais. Isso dificulta que os estudantes tenham uma visão mais crítica e abrangente dos aspectos sociais com a temática da radiação. Mesmo que a maioria dos livros ponderem os bons e maus usos da radiação na sociedade, a forma com que essas informações são trabalhadas parece ainda prevalecer a ideia linear e reducionista de que tecnologia propicia apenas o bem-estar social. Nesse sentido, há claramente uma demanda de elaboração de livros didáticos de Física com o tema radiação compromissada com um ensino de Física que contribua com o aperfeiçoamento da tomada de decisão por parte dos alunos, fomentando a construção da cidadania.

Os livros didáticos analisados mencionam que devem haver cuidados com o uso da radiação, a maioria, inclusive, apresenta os riscos da radioatividade, mas não informam sobre os meios de proteção da radiação para os indivíduos. Além disso, não há proposição de ações de mudança nos campos políticos e econômico a respeito da temática radiação, como, por exemplo, a política de riscos do uso, de questionamento das tecnologias, o acesso das populações mais pobres aos benefícios científico-tecnológicos da radiação para a sociedade. Nesse sentido, apontamos essa proposição como demanda para os autores inserirem nos recursos didáticos, em especial nos livros

didáticos, na abordagem CTS, as discussões e atividades de ações sociais e políticas públicas de precauções para se evitar os riscos dos usos da radiação.

Salientamos também que as obras não discutem e nem mencionam outras referências que levem os estudantes a refletirem e promoverem ações sociais. Um exemplo disso seria a inserção de atividades, textos e discussões que levassem os estudantes a refletirem e terem atitudes de cidadania, instigando-os a lutar por seus direitos e a reivindicar acesso mais democrático aos recursos tecnológicos provenientes das aplicações da radiação nos mais diversos setores, da sociedade, em especial aos órgãos de saúde pública.

Por fim, o livro didático por si só não obtém êxito em todas as questões defendidas pela abordagem CTS. No entanto, considera-se essencial o aprofundamento das questões que envolvam a inserção do conteúdo radiação, com a utilização da abordagem CTS, de modo que se propicie o desenvolvimento da autonomia e cidadania, cuja finalidade seja atingir uma educação científica mais humana e solidária.

Referências

- ABRANTES, A. A.; MARTINS, L. M. A produção do conhecimento científico: relação sujeito-objeto e desenvolvimento do pensamento. **Interface - Comunic., Saúde, Educ.**, v.11, n.22, p.313-25, 2007.
- AIKENHEAD, G. S. Research into STS Science Education. **Educación Química**, v. 16, n. 3, p. 384-397, 2005.
- AMARAL, C. L. C.; XAVIER, E. S.; MACIEL, M. D. Abordagem das relações Ciência/Tecnologia/Sociedade nos conteúdos de funções orgânicas em livros didáticos de química do ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 101-114, 2009.
- ARAÚJO, L. A. ; GAZINEU, M. H. P. ; LEITE, L. ; AQUINO, K. A. S. A radioatividade no cotidiano: atividade com educandos do Ensino Médio. **Experiências em Ensino de Ciências (UFRGS)**, v. 13, p. 160-169, 2018.
- ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. **Física**. Curitiba: Positivo, 2013.
- AULER, D. Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade: Pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. especial, 2007.
- AUTH, M. A.; ANGOTII, J. A. P. Ciência e tecnologia: implicações sociais e o papel da educação. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 1, p. 15-27, 2001.
- BISPO FILHO, D. O.; MACIEL, D. M.; SEPINI, R. P.; ALONSO, A. V. Alfabetização científica sob o enfoque da ciência, tecnologia e sociedade: implicações para a formação inicial e continuada de professores. **Revista Electrónica de las Ciencias**, v. 12, n. 2, p. 313-333, 2013.
- BONJORNO; CLINTON; PRADO, E.; CASEMIRO; BONJORNO, R. F. S. A.; BONJORNO, V. **Física**. São Paulo: FTD, 2013.

BRASIL. Guia de livros didáticos: PNLD 1999 - 5ª a 8ª séries. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, 1998.

Carvalho, D. B. Em busca do tempo vivido O discurso psicológico na SBPC, de Paulo Rosa. **Estud. psicol. (Natal)**. v .3, n.2, 1998.

DIO, R. A. T. D. Prefácio à edição brasileira. In: CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. **Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa**. São Paulo: EPU, 1979.

DOCA, R. H.; BÔAS, N. V.; BISCUOLA, G. J. **Física**. São Paulo: Saraiva, 2013.

FERNANDES, I. M. B.; PIRES, D. M.; DELGADO-IGLESIAS, J. Perspetiva Ciência, Tecnologia, Sociedade, Ambiente (CTSA) nos manuais escolares portugueses de Ciências Naturais do 6º ano de escolaridade. **Ciênc. Educ.**, v. 24, n. 4, p. 875-890, 2018.

FILHO, A. G.; TOSCANO, C. **Física Interação e Tecnologia**. São Paulo: Leya, 2013.

FOUREZ, Gerard. Crise no Ensino de Ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

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

GASPAR, A. **Compreendo a Física**. São Paulo: Ática, 2014.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

KANTOR, C. A.; JUNIOR, L. A. P.; MENEZES, L. C.; BONETTI, M. C.; JUNIOR, O. C.; ALVES, V. M. **Quanta Física**. São Paulo: PD, 2010.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. 4ª ed., São Paulo: Atlas, 2006.

MARTINI, G.; SPINELLI, W.; REIS, H. C.; SANT'ANNA, B. **Conexões com a Física**. São Paulo: Moderna, 2013.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física contexto & aplicações**. São Paulo: Scipione, 2013.

MEDEIROS, M. A.; LOBATO, A. C. Contextualizando a Abordagem de Radiações no Ensino de Química. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 3, p. 65-83, 2010.

MEDINA, M.; SANMARTÍN, J. El programa Tecnología, Ciencia, Natureza y Sociedad. In:

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física – Conceitos e Contextos: pessoal, social, histórico**. São Paulo: FTD, 2013.

PINTO, G. T.; MARQUES, D. M. Uma Proposta Didática na Utilização da História da Ciência para a Primeira Série do Ensino Médio: A Radioatividade e o cotidiano. **História da Ciência e Ensino**, v.1, p. 27-57, 2010.

PIQUEIRA, J. R. C.; CARRON, W.; GUIMARÃES, J. O. S. **Física**. São Paulo: Ática, 2014.

QUESADO, M. O papel dos aspectos da natureza da ciência em livros didáticos de ciências – uma análise textual. In: MARTINS, I.; GOUVÊA, G.; VILANOVA, R. (ORG). **O livro didático de**

ciências: contextos de exigência, critérios de seleção, práticas de leitura e uso em sala de aula. Rio de Janeiro: Ed., 2012. p. 91-104.

ROEHRIG, S. A. G.; CAMARGO, S. A. A educação com enfoque cts no quadro das tendências de pesquisa em ensino de ciências: algumas reflexões sobre o contexto brasileiro atual. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. 117-131, 2013.

SEPINI, R. P.; MACIEL, M. D. A história da ciência no ensino de ciências: o que pensam os graduandos em ciências biológicas. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v.6 n.2 p. 97-114, 2016.

SILVA, A. C. As radiações na Medicina: o que dizem livros didáticos de física Do Ensino Médio? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n.3, p. 222-243, 2019.

SOUSA, W. T.; SALES, L. L. M. Radioatividade no Ensino Médio: análise de livros didáticos de química no PNLD 2015. **Revista de Pesquisa Interdisciplinar**, v. 1, Ed. Especial, p. 73 - 79, 2016.

STEFANOVITS, A. **Ser Protagonista**. São Paulo: SM, 2013.

TAGLIANI, D. C., O livro didático como instrumento mediador no processo de ensino-aprendizagem de língua portuguesa: a produção de textos. **Revista Brasileira de Linguística Aplicada**, v. 11, n. 1, p. 135-148, 2011.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; PENTEADO, P. C. M. **Física Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2013.

VIECHENESKI, J. P.; SILVEIRA, R. M. C. F.; CARLETTO, M. R. Relações CTS em livros didáticos da área de ciências: uma análise das pesquisas realizadas no período de 2010 a 2017. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 2, p. 257-278, 2018.

XAVIER, C.; BARRETO, B. **Física aula por aula**. São Paulo: FTD, 2013.