



RADIAÇÕES E SUAS RELAÇÕES COM A MEDICINA: UMA REVISÃO NA ÁREA DE ENSINO DE FÍSICA

Radiations and its relations with medicine: a review in physics education area

André Coelho da Silva [andreoelho@ifsp.edu.br]
Instituto Federal de São Paulo, campus Itapetininga
Avenida João Olímpio de Oliveira, 1561, Itapetininga, São Paulo, Brasil

Resumo

As diretrizes nacionais para o ensino médio e diversos estudos realizados em diferentes países têm apontado a relevância em trabalhar no ensino de física as inter-relações entre o tema radiações e aspectos da medicina/saúde humana. Sendo assim, com o intuito de compreendermos como a literatura da área de ensino de física/ciências tem abordado tais relações, revisamos artigos publicados em 24 periódicos nacionais e internacionais, em anais dos Encontros de Pesquisa em Ensino de Física (EPEFs) e dos Simpósios Nacionais de Ensino de Física (SNEFs) e em dissertações e teses produzidas em programas de pós-graduação brasileiros. Foram encontrados 31 trabalhos: quatro nos EPEFs, quatorze nos SNEFs, quatro no periódico *Physics Education*, um no periódico *International Journal of Science Education*, um no periódico *Research in Science & Technological Education*, um no periódico *The Physics Teacher*, um no periódico brasileiro *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências* e cinco dissertações de mestrado produzidas nas seguintes universidades: UFRGS, UFRJ, Unicamp e USP. Além de sintetizarmos cada um dos trabalhos selecionados, sistematizamos suas contribuições em três categorias: I) Justificativas para o ensino das radiações e especialmente para relacioná-las a aspectos da medicina/saúde; II) Considerações acerca de recursos didáticos para abordar a temática; e III) Considerações acerca de resultados obtidos a partir da aplicação de propostas didáticas. Concluímos que embora a literatura revisada ofereça contribuições interessantes, ainda há carência de pesquisas de cunho empírico sobre a temática.

Palavras-Chave: Radiações; Medicina; Saúde; Revisão; Didática.

Abstract

Brazilian guidelines for high school and several studies conducted in different countries have shown the importance of working in physics education the interrelations between the subject radiations and aspects of medicine/health. Thus, in order to understand how the literature of physics/science education area has addressed such relationships, we review papers published in 24 national and international journals, in two Brazilian conference proceedings (EPEFs and SNEFs) and in dissertations and theses produced in Brazilian graduate programs. We found 31 studies, four in EPEFs, fourteen in SNEFs, four in the journal *Physics Education*, one in the journal *International Journal of Science Education*, one in the journal *Research in Science & Technological Education*, one in the journal *The Physics Teacher*, one in the Brazilian journal *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências* and five master's dissertations produced in the following universities: UFRGS, UFRJ, Unicamp and USP. In addition to synthesize each of the selected works, we systematize their contributions in three categories: I) Justifications for the teaching of radiations and specially to relate them to aspects of medicine/health; II) Considerations about didactic resources to address the issue; and III) Considerations about the results obtained from the application of educational proposals. We conclude that although the reviewed literature offers interesting contributions, there is still lack of empirical research on the subject.

Keywords: Radiations; Medicine; Health; Review; Didactic.

INTRODUÇÃO

Entre todos os temas cuja abordagem é preconizada no ensino médio (EM), consideramos o tema radiações um dos de maior destaque na chamada área de ciências da natureza, especialmente por adentrar as disciplinas de física, química e, em menor nível, biologia.

Podemos evidenciar tal destaque analisando as diretrizes normativas que balizam o ensino brasileiro, especificamente as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) para o EM (Brasil, 2002).

Na parte que trata da Biologia, considera-se como um dos objetivos: “Identificar fatores ambientais – vírus, **radiações** e substâncias químicas – que aumentam o risco de desenvolver câncer e medidas que podem reduzir esses riscos, como limitar a exposição à luz solar” (Brasil, 2002, p. 49 – grifo nosso).

Na parte que trata da Química, entre as unidades temáticas indicadas para o tema “Modelos quânticos e propriedades químicas” estão as de “Radiações e modelos quânticos de átomo: radiações eletromagnéticas e quantização da energia” e de “Constituição nuclear e propriedades físico-químicas: núcleo atômico; interações nucleares; isótopos; radiações e energia nuclear”.

Na parte que trata da Física, entre os seis temas estruturadores propostos, está o tema “Matéria e Radiação”, para o qual destacamos alguns dos objetivos indicados (associados a diferentes unidades temáticas):

*“Identificar diferentes tipos de **radiações** presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios gama) e sua utilização através das tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de micro-ondas, **tomografia** etc.)”.*

*“Compreender os processos de interação das **radiações** com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, **radiografias**”.*

*“Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou **medicina**”.*

*“Avaliar os efeitos biológicos e ambientais, assim como medidas de proteção, da radioatividade e **radiações** ionizantes” (Brasil, 2002, p. 78 – grifos nossos).*

Além disso, segundo Brasil (2002, p. 77 – grifos nossos):

*“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.) [...]”.*

Por meio dos grifos nas citações apresentadas até o momento esperamos ter ilustrado como as diretrizes oficiais para o EM brasileiro estabelecem relações entre o tema radiações e questões associadas à medicina e à saúde humana. Nesse sentido, podemos tomá-la como justificativa para que a abordagem didática do tema radiações perpassa pela abordagem de suas relações com aspectos da medicina/saúde, aspectos esses aos quais os estudantes costumam atribuir bastante relevância conforme apontado por estudos realizados com crianças e jovens (entre sete e dezessete anos) de países com diferentes realidades educacionais e socioculturais como Alemanha (Weltner *et al.*, 1980), Brasil (Silva, 2013), Estados Unidos (Jones, Howe & Rua, 2000), Grécia (Christidou, 2006), Israel (Baram-Tsabari & Yarden, 2005), Nova Zelândia (Jones & Kirk, 1990) e Turquia (Yerdelen-Damar & Eryilmaz, 2010; Cakmakci *et al.* 2012).

Temos como objetivo neste trabalho compreender como a literatura da área de ensino de física/ciências tem abordado as relações entre as radiações e aspectos da medicina/saúde, tanto no ensino básico quanto na formação de professores. Não restringimos as buscas apenas a trabalhos destinados ao ensino básico por sustentarmos que os professores são os principais mediadores do estudo de qualquer tema na escola e, logo, analisar questões associadas ao ensino básico implica na pertinência em analisar

como essas mesmas questões têm sido tratadas na formação docente. Salientamos que não temos como objetivo analisar criticamente a literatura revisada, mas sim, descrevê-la e sistematizá-la tendo em vista aqueles que nos pareceram ser seus principais resultados.

METODOLOGIA

Revisamos a literatura da área de ensino de física/ciências em busca de trabalhos cujo foco fosse ao menos um dos seguintes:

a) sugerir propostas didáticas que relacionem as radiações a aspectos da medicina/saúde para serem desenvolvidas com alunos do ensino básico;

b) relatar/analisar propostas didáticas que relacionem as radiações a aspectos da medicina/saúde desenvolvidas com alunos do ensino básico;

c) identificar os interesses ou as concepções prévias de estudantes do ensino básico no que diz respeito à relação entre as radiações e a medicina/saúde, incluindo as concepções referentes aos riscos associados aos procedimentos médicos;

d) relatar/analisar propostas didáticas que relacionem as radiações a aspectos da medicina/saúde desenvolvidas com licenciandos em física ou professores do ensino médio;

e) analisar como livros didáticos voltados ou ao ensino básico ou ao ensino superior abordam as inter-relações entre as radiações e a medicina/saúde.

É importante destacar que não selecionamos trabalhos que apenas mencionam possíveis relações entre a radiação e aspectos da medicina/saúde. Foi necessário que a proposta sugerida e/ou desenvolvida e analisada tivesse como um de seus focos a abordagem didática dessas relações. Nesse sentido, alguns trabalhos não foram selecionados porque apenas mencionavam que a radiação é utilizada em determinados procedimentos médicos, sem qualquer aprofundamento.

Também não selecionamos trabalhos desenvolvidos/voltados com/para alunos de cursos técnicos em radiologia e demais cursos técnicos que visam formar profissionais para a área da saúde. Justificamos essa opção por se tratar de cursos com alto grau de especificidade.

Foram consultados eventos e periódicos da área, bem como dissertações e teses.

Entre os eventos da área de ensino de física, foram consultados trabalhos apresentados nos Encontros de Pesquisa em Ensino de Física (EPEFs), a partir de sua oitava edição (2002); e nos Simpósios Nacionais de Ensino de Física (SNEFs), a partir de sua décima quinta edição (2003). Justificamos as edições escolhidas para iniciarmos as buscas tendo em vista o fato de que são as primeiras que passaram a dispor de páginas na internet, o que possibilita o acesso aos textos dos trabalhos apresentados (comunicações orais e pôsteres).

Ambos os eventos ocorrem a cada dois anos, os EPEFs em anos pares e os SNEFs em anos ímpares, com exceção do ano de 2011, em que também ocorreu um EPEF. Foram analisadas, portanto, nove edições do EPEF (da oitava até a décima quinta: 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2011, 2012, 2014 e 2016) e sete edições do SNEF (da décima quinta até a vigésima: 2003, 2005, 2007, 2009, 2011, 2013 e 2015). Vale ressaltar que não foram produzidas atas nem sistemas de busca de trabalhos para a maioria desses eventos, tornando necessário o acesso a suas programações e a leitura do título dos trabalhos apresentados em cada sessão. Ou seja, a busca foi feita analisando se o título do trabalho se enquadrava em um dos focos de nossa revisão de literatura. Em caso de dúvidas, abríamos o trabalho para ler também o resumo e, eventualmente o texto completo.

Fizemos buscas nas edições dos seguintes periódicos: 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*; Experiências em Ensino de Ciências; *International Journal of Science Education*; Investigações em Ensino de Ciências; *Physics Education*; *Research in Science & Technological Education*; *Research in Science Education*; Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia; Revista Brasileira de Ensino de Física; Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; Revista Ciências & Ideias; *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*; *Revista Electronica de Investigacion en Educacion en Ciencias*; *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*; *Science & Education*; *Science Education*; e

The Physics Teacher. Foram consultados, portanto, periódicos nacionais e internacionais em língua inglesa ou espanhola. A escolha dessas revistas foi feita tendo em vista nossa experiência na área de pesquisa em ensino de física/ciências e os resultados da avaliação Qualis realizada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) referente a 2014. Nesse sentido, todos os periódicos supracitados foram classificados nos estratos A1, A2 ou B1 na área de Ensino, com exceção do *Science Education*, que não encontramos na avaliação da CAPES.

Nos periódicos que dispõem de sistemas próprios de busca, foram utilizadas as seguintes palavras-chave para procurar por artigos: raios X, raio-X, radiação, radiações, radioatividade e física nuclear. No caso de periódicos em língua inglesa: *X-rays, radiation, radioactivity e nuclear physics*. No caso de periódicos em língua espanhola: *rayos X, radiación, radioactividad e física nuclear*. Quando possível, a busca foi direcionada aos resumos das publicações. Nos casos em que o sistema da revista não permitia essa opção, a busca foi direcionada aos títulos ou, em último caso, ao texto completo dos artigos.

Alguns periódicos não possuem sistemas próprios de busca. Nesses casos, realizávamos a pesquisa a partir do site de busca “Google” direcionando-o ao endereço eletrônico do periódico e utilizando as mesmas palavras-chave. Para pesquisar pela palavra-chave “raios X” na revista *Ciência em Tela*, por exemplo, digitamos no Google: “raios X” site: <http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/>. Esse método de pesquisa equivale a procurar pela palavra-chave no texto completo de cada artigo do periódico.

Para alguns periódicos, como o *Physics Education*, mesmo esse método não funcionou. Nesses casos, a busca foi feita lendo o título dos artigos um por um e acessando seus resumos em caso de dúvidas sobre se eram ou não pertinentes ao nosso estudo.

As buscas foram realizadas em todas as edições dos periódicos publicadas até o final de 2016, excetuando-se no *American Journal of Physics*, no *International Journal of Science Education*, no *Physics Education*, no *Science & Education* e no *The Physics Teacher*, em que as buscas foram feitas nas edições publicadas de 2000 em diante. Justificamos essa opção tendo em vista a percepção de que os sistemas de busca dessas revistas, quando existem, não são muito eficientes. Além disso, trata-se de revistas que publicam muitas edições anualmente.

A busca por dissertações e teses brasileiras foi feita na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Foram utilizadas as seguintes palavras-chave para a busca nos resumos: radiação, radiações, raios X, raio-X, ressonância, tomografia, espectro eletromagnético, radioatividade e radiatividade. Juntamente com essas palavras-chave foram acrescentadas, individualmente, as palavras ensino, educação e aula. Pelo que pudemos notar, as produções mais antigas cadastradas na BDTD datam da década de 1970.

Outra maneira utilizada para termos acesso a dissertações e teses que fossem pertinentes a esta revisão de literatura, foi atentarmos para menções ou citações feitas a produções desse gênero nos artigos que selecionamos (apresentados em eventos ou publicados em periódicos).

Por fim, é importante frisar que, assim como feito nos artigos de eventos e periódicos, a última etapa metodológica da seleção de teses e dissertações foi a verificação de sua adequação por meio da leitura do resumo e, eventualmente, do texto completo.

RESULTADOS

Seguindo essa metodologia, foram encontrados: dezoito trabalhos apresentados em eventos científicos da área de ensino de física, quatro nos EPEFs e quatorze nos SNEFs; oito artigos publicados em periódicos; e cinco dissertações de mestrado (nenhuma tese de doutorado). Ao todo, portanto, 31 trabalhos, o mais antigo deles de 1984.

O Quadro 1, a seguir, detalha: quais foram os trabalhos selecionados; de que tipos eles são (apresentação em evento, publicação em periódico ou dissertação); em que evento, periódico ou instituição foram apresentados/publicados/produzidos; e qual o foco de cada um deles (entre aqueles que caracterizamos na seção anterior).

Quadro 1 - Trabalhos revisados

Trabalho	Tipo	Evento/Periódico/Instituição	Foco(s)
Vieira (2003)	Evento	SNEF	a
Oliveira & Vianna (2006)	Evento	EPEF	a
Gibson, Cook & Newing (2006)	Periódico	Physics Education	a
Oliveira (2006)	Dissertação	UFRJ	a
Paiva (2016)	Periódico	The Physics Teacher	a
Pietrocola, Sousa & Ueta (2007)	Evento	SNEF	b
Siqueira, Pietrocola & Ueta (2007)	Evento	SNEF	b
Silva & Rosa (2013)	Evento	SNEF	b
Ronen & Ganiel (1988)	Periódico	Int. J. of Science Education	b
Ronen & Ganiel (1989a)	Periódico	Res. in Sc. & Tech. Education	b
Sousa (2009)	Dissertação	USP	b
Silva (2013)	Dissertação	Unicamp	b
Schreiber <i>et al.</i> (2016)	Evento	EPEF	b
Martins & Faêda (2009)	Evento	SNEF	b, c
Souza & Araújo (2009)	Evento	SNEF	b, c
Medeiros & Lobato (2010)	Periódico	Ensaio	b, c
Ronen & Ganiel (1989b)	Periódico	Physics Education	b, d
Rodrigues <i>et al.</i> (2003)	Evento	SNEF	c
Nicoli Jr. & Hosoume (2005)	Evento	SNEF	c
Prestes, Cappelletto & Santos (2008)	Evento	EPEF	c
Fortunato & Sauerwein (2011)	Evento	SNEF	c
Ferreira <i>et al.</i> (2013)	Evento	SNEF	c
Rego & Peralta (2006)	Periódico	Physics Education	c
Parisoto, Moro & Moreira (2011a)	Evento	SNEF	d
Parisoto, Moro & Moreira (2011b)	Evento	SNEF	d
Faêda & Martins (2013)	Evento	SNEF	d
Ronen & Ganiel (1984)	Periódico	Physics Education	d
Parisoto (2011)	Dissertação	UFRGS	d
Moura (2014)	Dissertação	UFRGS	d
Silva & Pereira (2011)	Evento	SNEF	e
Miquelin <i>et al.</i> (2012)	Evento	EPEF	e

Cinco trabalhos (16,1%) sugeriram propostas didáticas para serem desenvolvidas com alunos do ensino básico (foco a); doze (38,7%) relataram/analisaram propostas didáticas desenvolvidas com alunos do ensino básico (foco b); nove (29%) identificaram os interesses ou as concepções prévias de estudantes do ensino básico (foco c); sete (22,6%) relataram/analisaram propostas didáticas desenvolvidas com licenciandos em física ou professores do ensino médio (foco d); e dois (6,5%) analisaram livros didáticos voltados ou para o ensino básico ou para o ensino superior (foco e).

Especificamente sobre os trabalhos apresentados em eventos, os dados do Quadro 1 implicam em uma média de 0,44 trabalhos relacionados à temática deste estudo a cada edição do EPEF e de dois trabalhos a cada edição do SNEF. Há que se destacar ainda que no SNEF 2015 e nos EPEFs 2002, 2004, 2010, 2011 e 2014 não encontramos nenhum trabalho desse gênero.

Considerando o número total de trabalhos apresentados nesses eventos e que, comumente, eles se constituem como as oportunidades mais utilizadas para a divulgação de pesquisas em andamento, esses resultados sugerem a existência de poucos estudos dedicados a abordar o ensino das radiações de maneira relacionada a aspectos da medicina/saúde.

Foram encontrados artigos de periódicos pertinentes à nossa revisão em apenas cinco dos 24 periódicos consultados, destacando-se o *Physics Education*, onde foram encontrados quatro dos oito artigos selecionados. Entre os oito trabalhos, quatro foram desenvolvidos há certo tempo e pelos mesmos autores, Miky Ronen e Uri Ganiel, então associados ao *Weizmann Institute of Science* de Israel. Há que se destacar também que apenas um dos artigos foi publicado em um periódico brasileiro.

Quanto às dissertações selecionadas, vale frisar que a mais antiga foi defendida em 2006, sugerindo que pensar inter-relações entre o ensino das radiações e a medicina/saúde é uma temática emergente dentro dos programas de pós-graduação brasileiros.

A partir da leitura dos trabalhos selecionados, produzimos uma breve síntese para cada um deles. A sequência de apresentação dessas sínteses segue a ordem do Quadro 1, isto é, do foco “a” até o foco “e”.

Vieira (2003) descreveu brevemente algumas etapas metodológicas de um projeto que visava introduzir a Física Moderna e Contemporânea (FMC) no EM por meio do estudo interdisciplinar de um caso de tratamento radioterápico. A ideia seria que os professores de física, química, matemática e biologia de uma mesma escola visitassem um hospital onde são realizados tais tratamentos. Em conjunto com um físico-médico, haveria a oportunidade de conhecer as pessoas envolvidas e seria então escolhido um caso real para ser abordado em sala de aula. A partir disso, além da elaboração de material didático, a expectativa seria avaliar as dificuldades referentes a sua produção e a seu impacto na visão de ciência dos alunos.

Oliveira e Vianna (2006) relataram o processo de construção e validação de uma proposta metodológica para o ensino do tema raios X na terceira série do EM. A escolha do tema raios X entre os tópicos de FMC foi justificada tendo em vista o fato de que seu estudo permite abordar os modelos atômicos, o espectro eletromagnético e as radiações ionizantes e suas aplicações. Entre os professores entrevistados pelos autores, o tópico raios X teve boa aceitação por ser um assunto presente no dia-a-dia dos alunos e de caráter interdisciplinar. Alguns professores disseram que seria melhor inseri-lo quando da abordagem do tema ondas, outros quando da abordagem do eletromagnetismo. Houve relativo consenso em abordá-lo na terceira série do EM devido aos chamados pré-requisitos. A priorização da parte qualitativa e fenomenológica, a relevância da parte histórica e a necessidade em haver material didático e cursos de capacitação sobre o assunto também foram salientados. Os autores adotaram um enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) para a construção da proposta, privilegiando compreensões qualitativas de como os raios X são produzidos, quais foram as implicações históricas, sociais e éticas e aspectos relacionados aos riscos à saúde. O texto-base da proposta foi dividido em quatro módulos independentes: os raios X e suas aplicações; a descoberta dos raios X; a física dos raios X; efeitos biológicos das radiações e riscos para a saúde. Após a formulação, a proposta foi analisada por um professor de física do ensino superior e avaliada/validada por nove professores de física que atuavam no EM. Os professores gostaram do conteúdo, sugerindo, contudo, que o material viesse acompanhado de exercícios e seus respectivos gabaritos.

Gibson, Cook e Newing (2006) destacaram tópicos de física médica que seriam relevantes para o EM e descreveram uma unidade de ensino destinada a ensiná-los para alunos entre 14 e 16 anos de idade. Segundo os autores, enquanto a procura por cursos superiores de física no Reino Unido tem caído, a procura por cursos de física médica tem aumentado, o que sugeriria que promover a física médica nas escolas poderia encorajar mais jovens a cursar física. A escolha em cursar física médica estaria pautada principalmente na proximidade do assunto com aplicações do “mundo real” e na possibilidade de ajudar as pessoas de maneira mais direta. Após afirmarem que a física médica é, grosso modo, a aplicação da radiação à medicina e descreverem quais são as possíveis áreas de atuação de um físico médico, os autores indicam de que maneira estruturaram a unidade de ensino que produziram: apresentações de slides abordando o espectro eletromagnético, a radioatividade e o ultrassom; pôsteres para serem colados nas escolas destacando aspectos da unidade de ensino; um “caderno do professor”, abordando a ciência por

detrás de cada slide e sugerindo as tarefas a serem aplicadas; um livro-texto que traz informações mais aprofundadas sobre física médica; algumas imagens e outros recursos livres e gratuitos para utilização. A unidade de ensino seria ainda apoiada pelo site do projeto, onde foram disponibilizados materiais sobre radiografia, tomografia computadorizada (CT), tomografia por emissão de pósitrons (PET), ressonância magnética nuclear (RMN), entre outros. Finalizando, Gibson, Cook e Newing (2006) acreditam que abordar elementos de física médica pode auxiliar o ensino de energia, mecânica e radioatividade, entre outros tópicos. Outras vantagens incluiriam: a possibilidade de os estudantes trazerem suas experiências para a discussão (muitos deles já fizeram ou conhecem pessoas que fizeram exames ou tratamentos que envolvem elementos de física médica); a presença do assunto na mídia; a possibilidade de atrair tanto meninos quanto meninas (cursos de física médica do Reino Unido costumam ter 50% de alunos de cada sexo segundo os autores); o fato de se tratar de um assunto muito visual – os estudantes gostariam de trabalhar com imagens -; e a possibilidade de discutir a ciência na sociedade e questões éticas como a problemática riscos versus benefícios.

Oliveira (2006) - dissertação de mestrado que tem semelhanças com o artigo de Oliveira e Vianna (2006) – propôs-se a responder três questões de pesquisa: Qual a opinião dos professores em relação à inserção de tópicos de FMC no EM, em especial dos raios X?; Existe material sobre FMC nos livros didáticos e nas revistas da área de ensino de física para ser usado no EM?; Os professores estariam preparados para usar esse tipo de material? Para responder tais questões foram feitas entrevistas com dez professores do ensino básico, sendo que seis deles estavam cursando ou haviam cursado cursos de pós-graduação; uma Análise de Conteúdo em treze livros didáticos que seriam bastante utilizados nas escolas cariocas; e uma avaliação da proposta por nove professores que atuavam em escolas estaduais ou privadas do Rio de Janeiro. Entre os resultados, destacamos que: três dos dez professores disseram que já haviam trabalhado de forma superficial assuntos como radiação, laser e modelo atômico de Bohr; todos se mostraram favoráveis em abordar os raios X no EM, entretanto, a falta de tempo e de materiais adequados seriam entraves; cinco acharam melhor introduzir os raios X no escopo do tema ondas e quatro no escopo do eletromagnetismo; a terceira série do EM foi indicada como o melhor momento devido aos chamados pré-requisitos; todos os professores disseram que abordar elementos históricos seria importante – o que fez da história da ciência um dos alicerces da proposta; todos os professores acharam que seus alunos se sentiriam motivados; nos livros didáticos analisados o assunto era abordado de forma muito superficial, apenas mencionando o assunto na parte sobre ondas, onde o espectro eletromagnético seria apresentado; apenas um dos treze livros detalharia melhor o assunto; houve bastante aceitação e disponibilidade dos professores em utilizar o material produzido; a distribuição da unidade de ensino em módulos – por tornar a implementação mais flexível e ir motivando o aluno à medida que a leitura avançasse -, os conteúdos abordados e as orientações metodológicas foram elogiados; foram apontados como limites para a utilização da unidade de ensino o currículo a ser cumprido e o pequeno número de aulas semanais de física; alguns professores indicaram a necessidade de cursos de capacitação para abordar o assunto em sala de aula; a linguagem do material produzido foi julgada como adequada. Entre as sugestões para a melhoria da proposta estão a inserção de uma tabela que mostrasse a dose de raios X que seria permitida por ano, do gabarito e das respostas-padrão às questões e um maior aprofundamento na física nuclear e na física das aplicações médicas.

Tendo em vista a previsão de aumento do uso da radioterapia como decorrência da previsão de aumento do número de casos de câncer com o passar dos anos, Paiva (2016) sugere a abordagem do uso da radiação ionizante na medicina e dos princípios físicos básicos associados à determinação da espessura das paredes das salas que abrigam fontes de radiação ionizante como uma possibilidade didática plausível para o ensino médio. Foram abordadas no trabalho a lei do quadrado inverso e a lei da atenuação exponencial da radiação ionizante, ambas relacionadas ao cálculo da quantidade de radiação ionizante que atinge um ponto localizado após as paredes de uma sala que abriga uma fonte desse tipo de radiação. Além de deduções feitas por meio do formalismo matemático inerente à física, foram dados alguns exemplos reais. Concluindo, Paiva (2016) sugere algumas atividades extras que poderiam ser propostas pelos professores para os alunos que se interessassem no assunto, tais como a visita a clínicas de radioterapia e o projeto de uma sala destinada a realizar esse tipo de tratamento seguindo as normas de segurança abordadas.

Pietrocola, Sousa e Ueta (2007) descreveram a aplicação de uma atividade investigativa sobre os raios X com turmas da terceira série do EM noturno de duas escolas públicas paulistas. A atividade iniciava um curso de física de partículas e foi desenvolvida durante duas aulas de 45 minutos cada. Num primeiro momento, em grupo, os alunos analisaram algumas radiografias registrando aquilo que chamasse mais atenção. Foram destacadas características como forma, nitidez, partes do corpo que haviam sido examinadas e possíveis anomalias. Em seguida, objetivando motivar e iniciar a discussão sobre os raios X e as radiografias, foram levantadas, pelo professor, algumas questões. Houve bastante participação dos

alunos, expondo suas opiniões e sensações. Num terceiro momento, a fim de evidenciar como os raios X foram descobertos, como são produzidos e como são utilizados nas radiografias, foi entregue aos alunos um texto, sendo que ao final do mesmo havia algumas questões a serem respondidas. Por fim, com o objetivo de fazer uma analogia com a produção de radiografias, foi entregue aos alunos um papel fotográfico, solicitando a eles que colocassem objetos sobre o mesmo e o mantivessem por cerca de cinco minutos próximos a uma fonte de luz. Os professores que realizaram as atividades destacaram alguns aspectos positivos da proposta: a participação ativa e a atitude investigativa dos alunos que se refletiu na formulação de hipóteses; a relevância do texto para a sistematização das discussões; e o ambiente questionador por ela proporcionado.

Siqueira, Pietrocola e Ueta (2007) apresentaram uma experiência didática com o tema raios X desenvolvida com 31 alunos de uma turma da 3ª série do EM de uma escola pública paulista - parece se tratar da mesma atividade descrita por Pietrocola, Sousa e Ueta (2007). A análise das informações coletadas junto aos alunos por meio da gravação das aulas em vídeo e por meio de questionários escritos foi feita tomando como referência categorias ligadas às regras da transposição didática. Com relação à categoria “operacionalidade”, foi possível notar que a atividade foi bem gerenciada tanto pelos alunos quanto pelo professor. No que diz respeito à categoria “importância do conteúdo a ser estudado”, os autores argumentam que, embora as pessoas não o conheçam bem, trata-se de um assunto científico presente no cotidiano das pessoas, o que tornaria a escola responsável em possibilitar o acesso a ele. Com relação à categoria “compreensão”, as informações coletadas evidenciam que houve boa compreensão dos assuntos trabalhados durante as atividades. Por fim, no que diz respeito à categoria “capacidade de gerar questões e exercícios”, os autores frisam que as próprias atividades proporcionaram questões durante as aulas.

Silva e Rosa (2013) analisaram os resultados obtidos a partir de atividades sobre radiações ionizantes realizadas com onze alunos do terceiro ano do EM. As atividades ocorreram em contraturno, eram facultativas e versaram sobre a criação de vídeos e a aplicação de radiações ionizantes na medicina – houve uma apostila para cada assunto. Entre os conceitos de física trabalhados estão os de meia-vida, radiações ionizantes e não-ionizantes, infravermelho, ultravioleta, raios X, raios gama, partículas alfa e beta, comprimento de onda e frequência. Justifica-se a escolha pelo tema “radiações ionizantes” considerando sua relevância em termos médicos, ambientais, energéticos e tecnológicos; e a necessidade de abordá-lo para além dos aspectos negativos comumente destacados por livros didáticos (bombas e acidentes nucleares). As informações foram coletadas a partir: das atividades desenvolvidas pelos alunos – destacando-se a produção em grupos de um vídeo com duração entre cinco e dez minutos -; dos diálogos ocorridos durante as aulas; de uma visita técnica a um hospital onde os alunos conheceram os equipamentos, procedimentos e formas de radioproteção; de avaliações realizadas antes e após o curso; e de entrevistas individuais. Foram buscados indícios de apropriação da linguagem científica e cinematográfica. Um dos grupos produziu um filme que retrata um “reality show” no qual os participantes confinados em uma casa começam a sentir sintomas estranhos. Após serem avisados por um detetive que há material radioativo escondido na casa, começam a tentar encontrá-lo. Nesse ínterim, os participantes vão morrendo. O último sobrevivente encontra o material radioativo, mas morre antes de avisar o detetive. O outro grupo optou por fazer um vídeo na forma de um jornal descontraído em que casos fictícios que envolvem contaminações radioativas são assuntos para reportagens. Segundo Silva e Rosa (2013), evidências de apropriação de signos da linguagem científica relacionada ao tema radiações ionizantes apareceram na linguagem visual do primeiro filme e nas linguagens visual e verbal do segundo.

Ronen e Ganiel (1988) descreveram uma atividade realizada em sala de aula com alunos e professores de física do EM. O ponto central da atividade é o jogo/questionário “Cuidado, radiação!”, no qual os participantes comparam suas estimativas de doses de radiação ionizante recebidas em determinadas situações antes e depois de estudarem o assunto. Para introduzir o tópico “radiação ionizante e seus efeitos biológicos”, foi utilizado um capítulo da unidade de ensino descrita por Ronen e Ganiel (1984). De fato, segundo os autores, esse tópico havia despertado muito interesse por parte de alunos e professores. O elemento competitivo do jogo vem da ideia de que é calculada a diferença entre as doses estimadas por cada um antes e depois das explicações. Ao final da aula, questões controversas e os limites de dose recomendados também foram discutidos. O processo todo durou cerca de 100 minutos. Por fim, os autores consideram primordial que os educadores em ciências possibilitem aos alunos o acesso a conhecimentos que os façam adotar posições de maneira consciente.

Ronen e Ganiel (1989a) relataram a avaliação da unidade de ensino “Física nos diagnósticos médicos”, produzida e descrita por Ronen e Ganiel (1984) e utilizada em quinze turmas do décimo segundo ano escolar israelense entre 1983 e 1986. Como instrumentos de avaliação foram utilizados questionários pré-teste e pós-teste, observação em sala de aula, entrevistas com alunos e professores, análise do

desempenho dos alunos por meio de testes de compreensão com questões abertas e fechadas e comparação com grupo controle. Os objetivos da avaliação foram: identificar dificuldades de implementação da unidade; pensar possibilidades de superação das dificuldades; avaliar se a unidade é compatível com o currículo; investigar se os estudantes são capazes de transferir os conhecimentos trabalhados na unidade a situações práticas similares não relacionadas à medicina; avaliar se houve mudança de atitude dos estudantes com relação a assuntos como exames médicos, fenômenos energéticos e riscos ocupacionais; e investigar se houve mudança de atitude dos estudantes com relação à física como um todo. Durante o primeiro ano de avaliação foram notados dois problemas principais: os assuntos de maior dificuldade para os estudantes foram aqueles que requeriam a integração de diferentes conhecimentos; os professores estavam inseguros em ensinar tópicos que tinham relações com outras áreas (medicina, por exemplo), insegurança que teria desaparecido após a visita a um centro médico. Além disso, após essa primeira avaliação, partes do livro-texto dos alunos foram reescritas e foi preparada a versão final do guia para os professores. Entre os resultados da avaliação é possível destacar que: o desempenho dos alunos foi relativamente alto; a unidade de ensino sobre física médica foi avaliada como o assunto mais interessante abordado durante o ano, sendo o interesse atribuído principalmente à dimensão de aplicabilidade dos conhecimentos; 93% dos alunos afirmaram que eles utilizarão os conhecimentos adquiridos para informar colegas sobre o assunto; 97% dos alunos disseram que recomendariam a unidade de ensino a seus colegas; a unidade sobre física médica e o assunto mecânica foram eleitos os tópicos mais fáceis; a maioria dos estudantes foi capaz de transferir os conhecimentos abordados para uma situação que não era da medicina; após o estudo, a radioatividade continuou sendo considerada o fenômeno mais perigoso, embora tenha havido decréscimo desse índice; após o estudo, a ultrassonografia continuou sendo considerado o método de diagnóstico médico mais útil e menos perigoso, embora tenha havido decréscimo desse índice; após a unidade, o risco ocupacional atribuído a ocupações relacionadas à radiação foi menor, já o risco ocupacional atribuído a pessoas que fazem muitas viagens de avião aumentou; após a unidade, não houve aumento no interesse em relação à física como um todo, tampouco na percepção de sua aplicabilidade. Especificamente sobre esse último resultado, os autores o justificam ressaltando que a unidade foi apenas uma pequena parte do curso de física e que muitos estudantes não consideraram a unidade sobre física médica como “estudar física”. Lembrem ainda que a unidade foi aplicada a alunos que visavam carreiras científicas, ou seja, que já possuíam certo interesse pela física. Tendo em vista os resultados obtidos, Ronen e Ganiel (1989a) defendem que assuntos de física aplicada com relevância no dia-a-dia deveriam ser abordados ao longo da disciplina de física no nível médio.

Sousa (2009), dissertação que tem semelhanças com os trabalhos de Pietrocola, Sousa e Ueta (2007) e Siqueira, Pietrocola e Ueta (2007), nos quais foi analisada uma proposta com o tema raios X no EM, incluindo o manuseio de imagens radiográficas pelos alunos – trabalhos esses que já foram anteriormente sintetizados -, propôs um curso de física das radiações e o aplicou em uma turma noturna de terceiro ano do EM de uma escola estadual na modalidade educação de jovens e adultos (EJA). A faixa etária dos 35 alunos que contribuíram com a pesquisa variou de 19 a 51 anos. O objetivo foi analisar, pautado em noções da Teoria da Transposição Didática e nos resultados da aplicação, a estrutura e a adequação do curso. Segundo o autor, embora as novas tecnologias sejam cada vez mais consumidas e utilizadas, isso não tem permitido às pessoas uma melhor compreensão do mundo, das próprias tecnologias e nem um maior contato com o ensino de ciências. O curso foi previsto para dezenove aulas (aproximadamente um bimestre letivo de física) e pensado com a seguinte sequência: radiações eletromagnéticas (oito aulas, incluindo uma atividade de análise de radiografias); radiações corpusculares (cinco aulas); interação das radiações com a matéria e seus efeitos (três aulas); e detectores de radiação (três aulas). Foram apontados como pré-requisitos o estudo das ondas, da carga elétrica (em repouso e acelerada) e dos campos elétrico, magnético e suas relações. O curso foi composto essencialmente por atividades de caráter investigativo e por textos que auxiliariam na sistematização dos conceitos. A aplicação do curso foi feita por um professor que participava do grupo de estudos da universidade ao qual o autor também estava vinculado. A turma com a qual o curso foi desenvolvido era considerada apática e mediana por seus professores. Foi escolhida porque a frequência dos alunos era boa e porque o contato com o professor já perdurava por mais de um ano. Como instrumentos de coleta de informações foram utilizados a gravação das aulas em vídeo, as produções dos alunos e um questionário que visava avaliar a estrutura do curso. No geral, a proposta foi bem recebida e avaliada pelos estudantes e indícios de aprendizagem foram observados. Pautado nesses resultados, o autor considera que o curso poderia funcionar de maneira positiva também com alunos do EM regular.

Silva (2013), pautado em noções da Análise de discurso na vertente iniciada por Michel Pêcheux, teve como objetivo compreender o funcionamento de uma leitura de divulgação científica sobre ressonância magnética junto a três turmas do segundo ano do EM de uma escola pública paulista da qual era o professor de física. A escolha do tema da leitura foi justificada tendo em vista estudos que indicam a importância em abordar elementos da física relacionados ao mundo material, levantamentos realizados com

estudantes do EM que apontaram o funcionamento do aparelho de ressonância magnética como um assunto que lhes interessava e a possibilidade de abordar conceitos de FMC envolvidos. O texto escolhido para leitura em sala de aula foi um artigo de nove páginas publicado na revista *Ciência Hoje*, o qual, segundo análise, possuía certo nível de dificuldade devido à presença de muitos elementos desconhecidos aos estudantes. A coleta de informações se deu por meio de um questionário aplicado logo após a leitura individual dos textos, de um questionário aplicado após a mediação do professor e de breves entrevistas realizadas com alguns alunos nove meses após a realização do trabalho em sala de aula. A leitura do texto e a aplicação do primeiro questionário duraram duas aulas de 50 minutos. A mediação do professor, cujo intuito foi esclarecer algumas dúvidas dos estudantes e trabalhar alguns dos aspectos envolvidos no funcionamento do aparelho de ressonância magnética, também durou duas aulas de 50 minutos. Por fim, a aplicação do segundo questionário foi feita durante uma aula. As análises realizadas indicaram, entre outras coisas que: embora o assunto os agradasse, os estudantes tiveram muitas dificuldades na leitura do texto, especialmente devido a sua extensão e densidade conceitual; as respostas dadas ao segundo questionário, aplicado após a mediação do professor, tiveram maiores níveis de profundidade e de embasamento em elementos da física em comparação às respostas dadas ao primeiro questionário; os estudantes, em geral, preferiram destacar como conhecimento apreendido a partir da proposta desenvolvida elementos que dizem respeito a aplicações e a utilidades práticas, especialmente aquelas associadas à área da saúde. Dessa forma, em síntese, os resultados sugeriram a importância da mediação do professor quando da realização de leituras em sala de aula e o valor atribuído pelos jovens ao estudo de tópicos cuja utilidade é explicitada.

Assumindo a pertinência em trabalhar no ensino básico tópicos de FMC que estejam presentes em nosso dia a dia, Schreiber *et al.* (2016) desenvolveram com duas turmas do terceiro ano do EM de uma escola estadual paranaense uma proposta pedagógica focada na abordagem do tema raios X. O trabalho estava inserido no contexto do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID). Durante a primeira aula da proposta, foi aplicado um questionário com o objetivo de identificar que tipo de contato os estudantes já tinham tido com os raios X e seus conhecimentos prévios sobre a produção e o uso médico desse tipo de radiação. Na sequência, por meio de textos e de uma exposição dialogada, os autores procuraram abordar o tema focando em seus usos na medicina e em aeroportos. A título de avaliação, os estudantes foram divididos em dois grupos: um favorável ao uso dos raios X na medicina e na segurança de aeroportos e outro contrário. Na segunda aula foi feito um debate entre os grupos com a mediação dos autores. Diversas questões teriam surgido, tais como: “É medida a radiação dos técnicos em radiologia?” e “Na medicina, os equipamentos de raios X regularmente passam por análises de segurança, mas o mesmo não acontece nos aeroportos. Como saber a quantidade de radiação que esses equipamentos emitem? Será que está de acordo com o que diz no equipamento?”. Ao final do debate, cada aluno produziu um texto se posicionando sobre a aplicação dos raios X nesses contextos. Quanto aos resultados obtidos, Schreiber *et al.* (2016) destacaram que muitos alunos possuíam a concepção prévia de que os raios X causam câncer de forma determinística (e não probabilística). Além disso, a maioria deles teria afirmado que os conhecimentos que tinham sobre o assunto foram obtidos a partir de contatos com parentes e amigos. Após o desenvolvimento da proposta, a maioria dos estudantes teria sido capaz de associar os riscos da exposição aos raios X à dose recebida e ao tempo de exposição. A maioria também se disse favorável ao uso dos raios X na medicina (96%) e nos aeroportos (62%), justificando essa defesa por considerarem que os supostos benefícios superariam os possíveis malefícios. Por fim, destaca-se a efetiva participação das turmas nas atividades como decorrência do interesse demonstrado sobre o tema.

Motivados pela desinformação dos alunos acerca da radiação e dos mecanismos da telefonia celular, Martins e Faêda (2009) relataram a aplicação da proposta didática “Compreendendo a telefonia celular” junto a alunos do terceiro ano do EM noturno de uma escola pública mineira. A construção da proposta se deu a partir do levantamento das concepções de trinta alunos realizado por meio de um questionário. A partir de questões-chave foram abordados: a radiação solar; a radiação produzida pelo forno de micro-ondas; a radiação produzida pelas linhas de transmissão e pelas antenas de emisoras de rádio, televisão e telefonia celular; a distinção entre radiações ionizantes e não-ionizantes; entre outros tópicos. A unidade de ensino foi aplicada durante três aulas. Ao final do processo, 25 alunos responderam a um novo levantamento que consistiu basicamente das mesmas questões acrescidas de uma questão avaliativa sobre a proposta. As respostas aos dois questionários foram analisadas e comparadas tomando como aporte teórico a Análise de Conteúdo. Alguns dos resultados: antes da aplicação da unidade de ensino, 73% dos alunos destacavam a radiação como algo relacionado a efeitos nocivos, sendo que 57% se referiram a danos às células; a porcentagem de alunos que acreditavam que a telefonia celular, de um modo geral, não causa danos à saúde, passou de 23,5% para 61%; após o trabalho realizado em sala de aula, os alunos compreenderam que a telefonia celular está relacionada às ondas eletromagnéticas; além da redução de uma visão alarmista sobre o uso do telefone celular, houve maior embasamento científico nas respostas ao segundo questionário; boa parte dos alunos parece ter compreendido as características dos diferentes tipos de radiação e o efeito dos telefones celulares sobre o aquecimento das células; nenhum aluno apontou

aspectos negativos da proposta. Finalizando, Martins e Faêda (2009) ressaltam a importância em abordar de maneira mais aprofundada o conceito de radiação – diferentemente do que aconteceria nos livros – e em distinguir seus tipos.

Souza e Araújo (2009) relataram a aplicação de uma proposta para a inserção do tema raios X e radioproteção no EM. Tendo como embasamento teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa, a proposta foi desenvolvida com trinta alunos do segundo ano do EM de uma escola privada seguindo as seguintes etapas: aplicação de um questionário objetivando mapear os conhecimentos prévios dos estudantes relacionados ao conceito de tecnologia, aos raios X e ao espectro eletromagnético; realização de pesquisas em grupo sobre o espectro eletromagnético, a descoberta dos raios X, a radioterapia, os efeitos da radiação ultravioleta e as fontes naturais de radiação; apresentação de seminários referentes às pesquisas; realização de pesquisas sobre método científico; discussão sobre o trabalho dos cientistas, a produção dos raios X, a radioproteção e a radiografia; abordagem histórica sobre a luz e sua natureza dual; utilização de um pôster para abordar diversas questões relacionadas à produção dos raios X; discussão sobre os riscos associados à radiação e os meios de radioproteção; aplicação de um segundo questionário objetivando investigar a opinião dos alunos sobre cada etapa da pesquisa e suas compreensões sobre os assuntos abordados; e leitura e discussão de duas matérias de jornal relacionadas aos riscos da radiação. As respostas ao primeiro questionário, entre outras coisas, indicaram que 93% dos alunos caracterizaram tecnologia como modernidade, inovações e aplicações dos conhecimentos científicos. Sobre a existência de fontes de radiação em suas casas, 98% afirmaram que elas estão presentes nos fornos de micro-ondas e/ou nos telefones celulares. Mesmo sem justificar suas escolhas, todos os alunos disseram que uma mulher grávida deveria se submeter a uma ultrassonografia e não a uma radioterapia ou a uma radiografia. Boa parte dos estudantes foi capaz de relacionar a radioterapia ao tratamento do câncer. Todos eles afirmaram que uma fratura deveria ser diagnosticada por meio dos raios X, o que evidenciaria que esse tipo de diagnóstico está bastante difundido na sociedade. Em contrapartida, nenhum aluno soube explicar como os raios X são produzidos. Já no segundo questionário, aplicado em um dos últimos momentos da proposta didática, os alunos teriam demonstrado bom nível de apropriação dos assuntos abordados – algumas respostas apresentadas pelos autores exemplificam essa consideração. Finalizando, ressaltam-se a expressiva cooperação e o envolvimento da maioria dos alunos.

Partindo do levantamento de concepções de estudantes sobre radiação por meio de questionários e da análise do tratamento dado ao tema em quatro livros didáticos de química e em dois de física, Medeiros e Lobato (2010) desenvolveram e aplicaram junto a 77 alunos de duas turmas do terceiro ano do EM de uma escola da rede pública mineira uma unidade de ensino que visava contextualizar a abordagem do tema radiações no ensino de química. Mais especificamente, o material didático objetivou evidenciar que o tema radiação é relevante para a sociedade e o meio ambiente. Para isso, foram abordados durante oito encontros de 50 minutos os diversos tipos de radiação presentes no cotidiano dos estudantes, utilizando como contexto aspectos do funcionamento de alguns dispositivos como o rádio, a TV, o forno de micro-ondas, o telefone celular e o aparelho de radiografia. Mais especificamente sobre os raios X, eles foram trabalhados a partir de seu uso indiscriminado para a obtenção de radiografias odontológicas, de membros fraturados e/ou órgãos internos, dando-se destaque à possibilidade de modificação de funções e estruturas de moléculas e células em organismos vivos. Embora os autores descrevam a unidade de ensino, não há descrição a respeito de como ela foi utilizada. Três semanas após a aplicação da proposta, o questionário para levantamento de concepções foi novamente respondido. Vale destacar alguns resultados: antes da unidade, a televisão foi apontada como a maior fonte de informação sobre radiação, posto assumido pela escola após o trabalho em sala de aula; antes da aplicação da unidade, 45% dos estudantes não souberam escrever qualquer definição para o termo radiação, porcentagem que caiu para 14%; antes da unidade, 82% dos alunos associaram a radiação a malefícios, o que indica associação do termo radiação com radioatividade ou radiação ionizante; após a aplicação da unidade, 50% dos estudantes souberam apontar tanto malefícios quanto benefícios da radiação; antes da unidade houve bastante confusão entre tipos de radiação e seus emissores.

Ronen e Ganiel (1989b) relataram a preparação, a organização e a avaliação de visitas a hospitais realizadas entre 1983 e 1986 por professores (três visitas) e alunos israelenses do EM (décimo segundo ano – cerca de dezessete anos de idade) que optaram por carreiras científicas (quinze visitas). Os autores justificam as visitas partindo das considerações de que: muitas vezes a apreciação de uma aplicação tecnológica não é alcançada sem vê-la em ação; é impossível levar para a sala de aula muitos equipamentos interessantes; atividades externas quebram a monotonia da sala de aula, podendo acarretar em aumento da motivação; conhecer um hospital possibilita evidenciar a presença da física em diversas aplicações dentro de um contexto humano; não haveria nada mais próximo, real e relevante que a nossa própria saúde; as modernas técnicas médicas exemplificam a forte conexão entre a ciência pura e a tecnologia; várias técnicas de diagnóstico e de terapia também são baseadas em princípios físicos; a visita

a um hospital oportuniza o contato com profissionais como médicos, físicos médicos, engenheiros e técnicos. Para que não se converta em “tempo livre”, seria necessário que o professor planejasse a visita e quais seriam seus objetivos. Além disso, segundo os autores, seria importante que: os alunos conhecessem a física envolvida previamente; fossem feitas, durante as aulas, menções apenas a aplicações que pudessem ser efetivamente demonstradas durante a visita; houvesse ao menos um profissional do hospital guiando a visita; durante a visita, fosse apresentado o maior número possível de demonstrações reais; a visita não ultrapassasse cinco horas de duração, já contando o tempo para questões dos estudantes; os estudantes fossem preparados antes da visita (explicitação dos objetivos, proposição de questões, revisão da física envolvida etc.); fosse realizada uma avaliação da visita. O instrumento utilizado para avaliá-las foi um questionário que solicitava respostas a aspectos específicos e o relato de impressões. As informações obtidas a partir desse questionário auxiliaram na melhoria das visitas posteriores. Todos os estudantes teriam enfatizado que a observação dos equipamentos auxiliou o entendimento dos princípios científicos e das aplicações que haviam sido estudadas. Concluindo, Ronen e Ganiel (1989b) afirmam que as visitas foram estimulantes tanto para os alunos quanto para os professores. Especificamente em relação a esses, o conhecimento, a experiência e a confiança adquirida os teriam levado a incorporar em suas aulas exemplos que auxiliassem a relacionar a física à “vida concreta”.

Rodrigues *et al.* (2003) relataram as percepções de 81 alunos de duas turmas do terceiro ano do EM de uma escola estadual paulista com relação à palestra “Onde entra a Física na Medicina”. O estudo se insere dentro de um projeto maior que visava apresentar aos alunos do EM tópicos de pesquisas desenvolvidas na universidade. Após assistirem à palestra, a qual foi ilustrada por meio de transparências, os alunos tiraram suas dúvidas a respeito do assunto e responderam a um questionário que teve como objetivo analisar o aproveitamento da palestra pelos mesmos. Embora não deem muitos detalhes sobre as informações coletadas e sobre a metodologia de análise, os autores afirmam que os alunos apresentaram amplo desconhecimento da aplicação da física na medicina, do profissional “físico médico” e de sua atuação e que não conseguiram relacionar o assunto da palestra com os conteúdos abordados na escola. Finalizando, Rodrigues *et al.* (2003) ressaltam que, em geral, os alunos têm muita curiosidade e interesse em relação às novas tecnologias, o que apontaria para a necessidade de as escolas proporcionarem oportunidades para que eles entrassem em contato com questões interdisciplinares e conhecessem novas profissões.

Nicoli Jr. e Hosoume (2005), pautados na noção de representação social segundo Serge Moscovici e Denise Jodelet, estudaram de maneira exploratória as representações sociais de crianças de classes hospitalares sobre radioterapia e radiação. Os sujeitos da pesquisa tinham entre sete e dezessete anos e eram alunos de um projeto que visava estabelecer elos entre a escola de origem e a criança afastada temporariamente para o tratamento do câncer. A coleta de dados se deu por meio de entrevistas informais e individuais com seis alunos-pacientes. Num primeiro momento, foi solicitado que desenhassem o “antes”, o “durante” e o “depois” do tratamento. Num segundo momento, foi solicitado que desenhassem o que achavam que seria a sua doença. Na terceira parte, além de solicitar que respondessem a algumas questões, foi pedido aos sujeitos que desenhassem “o que representava a radioterapia em sua vida”. Em geral, os desenhos referentes à primeira parte caracterizaram o “antes” como as salas de recepção do hospital, o “durante” como a máquina de radioterapia e o “depois” como cada paciente indo embora com seu acompanhante, todos felizes e sem efeitos colaterais. Quanto aos desenhos referentes à segunda parte, embora não deem muitos detalhes, os autores afirmam que quase todos foram bem técnicos e precisos quanto à localização e à identificação do tumor como a causa da doença. Por fim, em relação aos desenhos da terceira parte, todos relacionaram a radioterapia à cura do câncer, caracterizada, na maioria dos desenhos, pelo crescimento dos cabelos. Os pacientes de menor idade pareceram não conhecer aspectos associados ao tratamento, diferentemente do que ocorreu com os pacientes mais velhos, que chegaram a afirmar que os raios/radiações são responsáveis em diminuir o tamanho do tumor. Além disso, a principal fonte de dúvida entre os pacientes mais velhos foi a questão dos efeitos colaterais da radiação.

Prestes, Capelletto e Santos (2008) investigaram as concepções prévias sobre radiação de 25 estudantes de EM de uma escola estadual do Rio Grande do Sul objetivando obter subsídios para a realização de intervenções didáticas. A coleta de informações se deu por meio de um questionário composto por quinze questões dissertativas, as quais foram respondidas de maneira anônima e individual. Entre os resultados é possível destacar que: apenas 40% dos estudantes apontaram corretamente qual era o símbolo de material radioativo; 100% dos participantes manifestaram não saber a diferença entre radiação ionizante e radiação não-ionizante; 92% disseram acreditar que o uso de radiações para a conservação de alimentos pode prejudicar a saúde dos seres humanos; 76% afirmaram que podemos sentir a radiação (o que não é o caso para as radiações ionizantes, por exemplo); aplicações da radiação na área da medicina eram conhecidas por 92% dos estudantes, enquanto aplicações bélicas, na eletrônica, na indústria e na geração de energia eram conhecidas, respectivamente, por 60%, 40%, 28% e 24% dos estudantes; 80%

disseram saber que a radiação é utilizada por equipamentos de raios X; 40% afirmaram que o uso dos raios X na medicina traz apenas benefícios, enquanto 52% afirmaram que haveria também possíveis prejuízos. Portanto, segundo os autores, antes da instrução formal, os estudantes do EM apresentaram muitas ideias vagas e desarticuladas sobre radiação. Há que se ressaltar ainda, que após a aplicação do questionário, os alunos teriam demonstrado curiosidade em saber mais sobre o tema, o que sugeriria seu potencial em termos de motivação. Por ser atual, interessante, com muitas aplicações práticas, com forte viés interdisciplinar e capaz de suscitar discussões sobre as relações CTS (cuidados com a saúde, contaminação ambiental, tecnologia médica etc.), Prestes, Capelletto e Santos (2008) afirmam que o estudo das radiações, embora ainda pouco explorado, seria um tema de FMC que poderia ser facilmente inserido no EM.

Fortunato e Sauerwein (2011) relataram um estudo cujo objetivo foi identificar as dúvidas de cerca de vinte estudantes do terceiro ano do EM de uma escola estadual gaúcha acerca do tema radiações. A partir disso e no âmbito de um projeto mais amplo, a ideia foi elaborar módulos didáticos que contemplassem os assuntos mais recorrentes nas questões formuladas pelos alunos. O tema escolhido e suas relações com a saúde, embora comumente não contempladas na formação de professores – o que constituiria uma limitação segundo os autores -, seriam relevantes ao ensino tendo em vista: sua natureza interdisciplinar, atualidade e associação com aplicações práticas; sua presença na mídia e em experiências vividas no cotidiano (como nos exames de diagnóstico médico); a missão cidadã da escola; a transversalidade da saúde sugerida pelos PCN's; a possibilidade de abordar diversos conceitos físicos, muitos deles de FMC; e o interesse que despertaria nos alunos. A elaboração de dúvidas pelos estudantes se deu de maneira anônima e após a exibição de um vídeo que tratava do tema radiações. Foram criadas quatro categorias para agrupar as questões. Seis delas foram alocadas na categoria “características”, cujas preocupações recaíram, entre outras coisas, sobre a origem das radiações e seu comportamento. Oito perguntas foram alocadas na categoria “saúde”, onde esclarecimentos sobre os efeitos biológicos da radiação e sobre proteção radiológica, entre outros, foram solicitados pelos alunos. Cinco perguntas foram alocadas na categoria “acidentes radioativos”, boa parte delas se referindo ao acidente ocorrido em Goiânia com o Césio 137, o qual havia sido mencionado no vídeo exibido. Dezesesseis perguntas foram alocadas na categoria “cotidiano”, perguntas essas que faziam referência a aparelhos domésticos, eletroeletrônicos, equipamentos de diagnóstico médico e principalmente à questão da radiação ultravioleta. Para Fortunato e Sauerwein (2011) os resultados evidenciaram a grande curiosidade que o tema desperta nos estudantes, especialmente em relação a acontecimentos e fenômenos do dia-a-dia.

No contexto do PIBID, Ferreira *et al.* (2013) analisaram as perguntas sobre o tema “Benefícios e Malefícios dos raios X” feitas durante oficinas realizadas por 28 alunos do terceiro ano do EM vespertino de uma escola estadual paraense. Além da discussão dos assuntos e da utilização de textos de apoio, durante as oficinas foi solicitado aos estudantes que realizassem e socializassem pesquisas, valorizando suas dúvidas e curiosidades. As pesquisas e suas referências bibliográficas, as observações feitas a partir das leituras, os relatos sobre as oficinas e as perguntas sobre o tema foram organizados em portfólios individuais. A análise de 21 portfólios indicou as perguntas e curiosidades mais frequentes sobre o tema, entre elas: quais são os conceitos físicos relacionados aos raios X?; O que são elétrons?; O que são fótons?; Quais os malefícios dos raios X à saúde?; Quais e como foram criados os métodos para se proteger da radiação?; Qual a diferença entre radiação ionizante e não-ionizante?; Como os raios X foram descobertos?; O que são raios X?; O que é radiação?; Como funciona o aparelho de raios X?; Quais os tipos de radiação?; Quais os benefícios dos raios X?; Raios X e ultrassom são a mesma coisa?. Concluindo, Ferreira *et al.* (2013) frisam a importância em valorizar a curiosidade e as questões dos estudantes, o que os auxiliaria na assunção de uma postura ativa em relação à aprendizagem.

Rego e Peralta (2006) objetivaram avaliar o conhecimento sobre radiação de 1246 estudantes portugueses de diferentes níveis de escolaridade: do sétimo ao nono ano; do décimo ao décimo segundo ano; e da universidade. Para isso aplicaram um questionário que visava identificar conhecimentos gerais sobre radiação e conhecimentos específicos sobre aplicações e riscos da radiação. Maiores detalhes sobre como se deu a aplicação dos questionários, durante que período ou quem os aplicou não são apresentados. A análise quantitativa dos dados levou os autores a concluírem que: a distinção entre radiação ionizante e radiação não-ionizante, em geral, não era bem compreendida pelos estudantes; menos da metade dos estudantes da escola básica reconheciam as ondas eletromagnéticas como radiação; a maioria dos não universitários era capaz de identificar os raios X mas não a radiação visível como um tipo de radiação; cerca de 25% dos universitários nunca tinham ouvido a expressão “radiação visível”; mesmo sendo a principal fonte natural de radiação na Terra, a maioria dos estudantes não conheciam o radônio e tampouco reconheciam outras fontes naturais de radiação além do Sol; os estudantes em geral não tinham muito conhecimento sobre os efeitos da radiação sobre tecidos e seres vivos; os estudantes em geral desconheciam ou se equivocavam sobre a dependência dos riscos em relação ao tipo de radiação; havia

desconhecimento da diferença entre as doses de radiação recebidas em exames de diagnóstico e em terapias; os estudantes, em geral, tinham pouco conhecimento sobre as diferenças entre os tipos de radiação.

Ao notarem a existência de poucos materiais didáticos interdisciplinares que discutam aplicações da física na medicina, Parisoto, Moro e Moreira (2011a), pautados em elementos da Teoria da Aprendizagem Significativa, da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, da Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud e da Epistemologia de Stephen Toulmin, desenvolveram um curso cujo foco central foi a explicação da ultrassonografia. O curso foi realizado por licenciandos e por professores de física do Rio Grande do Sul (dezoito participantes ao todo) e teve duração de 40 horas, 32 delas presenciais. Entre outras coisas, foram abordados: as funções de cada parte do aparelho de ultrassonografia; os tipos de ondas, suas características e alguns fenômenos ondulatórios (interferência, reflexão, refração etc.); as características do som e o efeito Doppler. No início e ao final do curso foram aplicados um pré-teste e um pós-teste, respectivamente. Parisoto, Moro e Moreira (2011a) compararam as respostas dadas nesses testes, apresentando no trabalho apenas aquelas que foram dadas pela aluna que teria melhor evidenciado indícios de aprendizagem significativa. Embora o foco da proposta tenha sido a ultrassonografia, as questões abordavam também aspectos relacionados à produção e à interação da radiação com a matéria, incluindo menções à radiografia e à PET. Segundo os autores, antes do curso, os alunos sabiam pouco e de maneira descontextualizada a respeito dos conteúdos trabalhados, limitando-se ao conhecimento de nomenclaturas. Após o curso, teria havido uma melhora significativa.

Parisoto, Moro e Moreira (2011b) analisaram as respostas dadas por quatro licenciandos e dois professores de física do Rio Grande do Sul a três situações-problemas propostas durante o curso elaborado por Parisoto, Moro e Moreira (2011a). No início de cada aula, em duplas, os alunos gravavam em áudio suas discussões relativas à situação-problema. Ao final da aula, após a aplicação de uma parte do curso, os alunos gravavam novamente suas discussões. Pautados na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e na Teoria da Aprendizagem Significativa, os autores procuraram identificar nas falas dos alunos teoremas e conceitos-em-ação, indícios de aprendizagem significativa e equívocos e pontos não explicados. Na primeira situação-problema, os alunos deveriam explicar o motivo em utilizar materiais de chumbo como proteção aos raios X. Na segunda deveriam explicar como fariam para distinguir dois tecidos internos que possuem densidades muito semelhantes. Já na terceira deveriam explicar que tipo de radiação e que procedimentos de segurança utilizariam a fim de destruir células cancerígenas de um paciente. As análises realizadas indicaram que, inicialmente, os participantes sabiam pouco sobre os assuntos abordados. Por outro lado, após a aplicação do curso, a maioria deles teria sido capaz de utilizar melhor os conceitos e de maneira mais interligada, apresentando indícios de aprendizagem significativa, o que sugeriria que o material e sua metodologia de aplicação são potencialmente significativos.

Faêda e Martins (2013) discutiram os resultados da avaliação da disciplina eletiva “Efeitos Biológicos da Radiação”, realizada por nove licenciandos em física de uma universidade privada mineira que cursaram a disciplina durante o primeiro semestre de 2012. A análise das respostas dadas pelos estudantes foi feita com base na Análise de Conteúdo conforme proposta por Laurence Bardin e objetivou compreender o currículo experiencial da disciplina, sobretudo através da percepção discente acerca da relevância e da profundidade das temáticas abordadas. Entre as oito temáticas distinguidas (Radiação; Radiação por partículas e radioatividade; Radiação ionizante e não ionizante; Reações nucleares; Tipos de Radiações e suas aplicações; Interação das Radiações com a matéria; Efeitos biológicos da Radiação; e Proteção Radiológica), os licenciandos indicaram preferência pela temática “Radiação por partículas e radioatividade”, seguida pela temática “Radiação ionizante e não ionizante” e pela temática “Tipos de Radiações e suas aplicações”. As temáticas com menor preferência foram “Reações nucleares” e “Proteção Radiológica”. Entre os aspectos positivos e negativos da disciplina apontados pelos licenciandos destacam-se: o conteúdo como predominantemente positivo e a metodologia como contendo elementos positivos (visitas técnicas a laboratórios) e negativos (pouco aprofundamento dos conteúdos e foco em apresentações de slides).

Ronen e Ganiel (1984) relataram o desenvolvimento de uma unidade de ensino sobre a física dos diagnósticos médicos destinada a alunos do EM israelense (12º ano, 17-18 anos de idade) que optaram pelo currículo focado em ciências. Comentaram também questões associadas à preparação de professores para a utilização da unidade com seus alunos. Segundo os autores, embora os métodos de diagnóstico por imagem baseados em princípios físicos sejam cada vez mais utilizados, para a maioria da população esse campo continua desconhecido e até amedrontador. Partindo da constatação de que o currículo israelense contemplava a física necessária para compreender um pouco sobre esses métodos, Ronen e Ganiel (1984) afirmam que seria necessário apenas explicitar essas conexões. A unidade de ensino foi estruturada da seguinte maneira: problematização inicial (pergunta: como olhar dentro do corpo humano de maneira não-

destrutiva?); abordagem dos raios X, dos traçadores radioativos e da ultrassonografia (apresentação dos princípios físicos, dos métodos e procedimentos de aplicação e dos riscos envolvidos); discussão dos assuntos e visita a um hospital. Havia também um jogo onde era necessário aos alunos tomar decisões a respeito de como agir. A implementação da unidade foi iniciada com um curso para 35 professores em serviço. Os professores mostraram grande interesse pessoal pelo assunto, mas muitos não se sentiram confiantes para ensiná-lo. Uma das preocupações foi a de que conhecimentos biológicos poderiam vir à tona durante as aulas. Apenas cinco desses professores trabalharam com a unidade de ensino no ano seguinte. Após isso, além do material destinado aos alunos, foi elaborado um material para professores que incluía: solução dos problemas propostos aos alunos; informações complementares; problemas extras; sugestões didáticas; guias de como cada tópico deveria ser apresentado e referências. No segundo curso para professores, já com o material para professores disponível e com os relatos dos que haviam aplicado a unidade, outros vinte professores também passaram a utilizá-la. Segundo os autores, os professores que utilizaram a unidade de ensino e seus alunos ficaram bastante satisfeitos com os resultados. Inclusive, alunos de outras turmas teriam pedido para que o assunto fosse trabalhado com eles. Por fim, Ronen e Ganiel (1984) destacam que lidar com aplicações práticas requer a integração de tópicos discutidos em diferentes áreas da física.

Tendo como referenciais teóricos a Teoria da Aprendizagem Significativa, a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e a Epistemologia de Toulmin, Parisoto (2011) - produção que tem semelhanças com os trabalhos de Parisoto, Moro e Moreira (2011a) e Parisoto, Moro e Moreira (2011b) - elaborou um curso sobre tópicos de eletromagnetismo, óptica, ondas e física moderna aplicados à medicina. O curso foi desenvolvido com licenciandos em física e profissionais que lidam com radiação ionizante. A partir da realização de uma revisão bibliográfica, a autora encontrou trinta e nove artigos sobre o ensino de física relacionado à medicina - dezesseis deles dirigidos à divulgação científica. Muitos desses artigos tratavam de aspectos relacionados à visão e aos sistemas cardiovascular e respiratório. Entre as estratégias e recursos didáticos utilizados no curso desenvolvido por Parisoto (2011) estiveram: textos de apoio para que os alunos acompanhassem as aulas; atividades experimentais sobre o funcionamento do telefone celular, a visão das cores, a irradiação e as ondas mecânicas; simulações computacionais complementares aos experimentos; mapas conceituais; resolução de situações-problema e exercícios. Entre os assuntos do curso, destacamos: tipos e características das ondas; ultrassonografia; estrutura atômica; radiação; espectro eletromagnético; raios X; radioatividade; acidentes nucleares; defeitos de visão; radiografia e mamografia; CT; RMN; medicina nuclear; PET; interação da radiação com a matéria e detectores de radiação. A análise dos dados obtidos a partir do desenvolvimento do trabalho pedagógico teria indicado que, antes do curso, os alunos possuíam poucos conhecimentos prévios, desvinculados de outros conhecimentos e descontextualizados. Após o curso, foi notado que os conceitos passaram a ser utilizados de maneira mais contextualizada e que, em muitos casos, houve aprendizagem significativa, especialmente quando foram utilizados materiais mais detalhados. A partir das análises, Parisoto (2011) conclui que é possível abordar conceitos de óptica, eletromagnetismo e FMC de maneira relacionada à medicina. A autora elaborou também listas de conceitos/noções cuja abordagem seria necessária a fim de possibilitar aos estudantes a compreensão dos aparelhos e exames de mamografia, radiografia, RMN e medicina nuclear. Por fim, observa-se que a pesquisa desenvolvida englobou muitas questões e estratégias de pesquisa e ensino, o que lhe teria dado um caráter superficial. Por outro lado, ao ser encarada como um estudo exploratório, muitas possibilidades de continuidade teriam sido indicadas.

Moura (2014) desenvolveu uma proposta pedagógica que incluía atividades sobre as radiações ionizantes e suas aplicações médicas em um curso de extensão voltado para professores do ensino básico e interessados no ensino de física e em cursos de licenciatura em matemática e ciências biológicas. As teorias da Interação Social de Vygotsky e da Aprendizagem Significativa de Ausubel foram tomadas como referenciais teórico-metodológicos. Segundo o autor, os poucos professores que participaram do curso de extensão não tiveram muito envolvimento com o curso. Além disso, nesse momento os textos e a organização da unidade de ensino aplicada ainda estariam em uma fase embrionária. A física das radiações ionizantes foi trabalhada com ênfase em aspectos históricos e nas aplicações médicas. Entre outras coisas, foram abordados a radiografia, a mamografia, a CT, a medicina nuclear e a radioterapia. Segundo o autor, os professores que participaram desse curso, a maioria deles licenciados em matemática, desconheciam a diferença entre contaminação e irradiação, o mecanismo de produção dos raios X, a diferença entre raios X e raios gama e os mecanismos de funcionamento da CT, da radioterapia e da medicina nuclear. Após o desenvolvimento do trabalho pedagógico com a unidade de ensino foi realizado um pós-teste. Não teria havido melhora significativa em relação ao panorama observado antes do curso no que se refere à compreensão dos participantes a respeito dos tópicos abordados.

Considerando a relevância do livro didático nos processos de ensino e a importância da temática radiação ionizante - evidenciada por sua presença na mídia e sua relação com a conscientização da sociedade -, Silva e Pereira (2011) analisaram de maneira exploratória como três livros didáticos do nono ano recomendados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD-2008) a abordavam. A análise deu origem a 23 fichas, cada uma associada a um capítulo que apresentava conceito(s) relacionado(s) à radiação ionizante. Embora esse alto número de menções indique que os autores dos livros didáticos analisados valorizavam o tema, indica também, segundo os autores, 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 e/ou exclusivamente o tema. Uma sugestão seria agrupar os assuntos relacionados à radiação ionizante em um único capítulo.

Partindo da consideração de que o livro didático é uma ferramenta de extrema importância tanto para professores quanto para alunos, Miquelin *et al.* (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 (cada coleção com três volumes) aprovadas pelo PNLD-EM-2011. Os conteúdos de radiologia analisados foram raios X, radioatividade e CT. Quanto às coleções de física, elementos relacionados à radiologia apareceriam apenas nos terceiros volumes, quando são abordadas as ondas eletromagnéticas. Já na coleção de química, esses elementos apareceriam principalmente no primeiro volume. 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 CT foi abordado apenas pela coleção de química. Não foram encontradas imprecisões científicas, entretanto, em alguns casos, explicações foram feitas de maneira confusa e termos errôneos como “chapa” (ao invés de radiografia) foram utilizados. Os autores frisam ainda que as relações com a radiologia são apresentadas de maneira informativa e ilustrativa, como forma de justificar o estudo dos tópicos científicos. Em contrapartida, uma vez que comumente recorremos a procedimentos de saúde relacionados à radiologia, segundo Miquelin *et al.* (2012) seria importante que o EM nos capacitasse a: discernir se as práticas radiológicas se destinam a um diagnóstico ou a uma terapia; compreender de que forma esses procedimentos interagem com o organismo, o aspecto probabilístico referente à ocorrência de câncer e a necessidade de proteção radiológica; distinguir entre efeitos térmicos e efeitos ionizantes das radiações; conhecer os níveis anuais adequados de exposição à radiação ionizante e os princípios básicos de funcionamento e de fabricação desses objetos tecnológicos.

SISTEMATIZANDO A LITERATURA REVISADA

A fim de sistematizarmos nossa compreensão de como a literatura revisada tem abordado as relações entre as radiações e aspectos da medicina/saúde, optamos por dividir suas principais contribuições em três categorias: I) Justificativas para o ensino das radiações e especialmente para relacioná-las a aspectos da medicina/saúde; II) Considerações acerca de recursos didáticos para abordar a temática; III) Considerações acerca de resultados obtidos a partir da aplicação de propostas didáticas.

Quanto à categoria I, podemos apontar as seguintes justificativas para abordar o assunto: conveniência em introduzir tópicos de FMC no EM; coerência com o que é apontado pelas diretrizes curriculares nacionais, especialmente no que diz respeito à transversalidade do tema saúde; forte caráter interdisciplinar; atualidade e presença no dia-a-dia das pessoas (experiências com exames de diagnóstico médico por imagem, por exemplo); capacidade em suscitar discussões com ênfase em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), como questões éticas e questões associadas à problemática riscos versus benefícios; existência de muitas aplicações e objetos tecnológicos relacionados; presença do tema na mídia; importância em saber discernir práticas diagnósticas de práticas terapêuticas e efeitos térmicos de efeitos ionizantes; importância em compreender de que forma esses procedimentos interagem com o organismo, o aspecto probabilístico referente à ocorrência de câncer e a necessidade de proteção radiológica; importância em conhecer os níveis anuais adequados de exposição à radiação ionizante e os princípios básicos de funcionamento e de fabricação dos equipamentos destinados a realizar diagnósticos e tratamentos médicos com radiações; possibilidade de encorajar mais jovens a cursar física, especialmente meninas; relevância e interesse atribuído pelas pessoas a sua própria saúde e à área da saúde como um todo.

Quanto à categoria II, podemos apontar algumas indicações referentes à forma/conteúdo de unidades de ensino destinadas a abordar a radiação no contexto da medicina/saúde: relevância da interdisciplinaridade; possibilidade de trabalhá-la no contexto das ondas, do eletromagnetismo ou da FMC; entendimento de que, tendo em vista os pré-requisitos, a terceira série do EM seria o momento mais adequado para trabalhá-la no ensino básico; priorização de aspectos qualitativos, fenomenológicos e históricos relacionados; importância em realizar atividades práticas; e importância em explicitar as doses máximas de radiação ionizante recomendadas.

Quanto à categoria III, cremos ser primordial frisar que os resultados obtidos pelos trabalhos estão intimamente ligados às suas condições de produção. Nesse sentido, mesmos os apontamentos feitos a seguir, cujas ênfases recaem sobre aspectos mais gerais, devem ser considerados com as devidas ressalvas no que diz respeito à possibilidade de generalização. Dito isto, destacamos alguns dos resultados obtidos pelos estudos revisados: os estudantes costumam ter interesse e curiosidade pelas novas tecnologias e por conteúdos aplicados, especialmente no que diz respeito à área da saúde; alunos do ensino básico, licenciandos e professores de física que participaram dos estudos parecem se interessar pelo assunto, especialmente pela temática radiação ionizante e seus efeitos biológicos e em questões relacionadas a acontecimentos e fenômenos do dia-a-dia, o que acarretaria em bons níveis de participação nas atividades; a maneira como os raios X são produzidos, os conceitos de radiação e radioatividade, a diferença de doses recebidas em exames de diagnóstico e terapias, a existência de fontes naturais de radiação ionizante, os diferentes tipos de radiação e a diferença entre radiação ionizante e não-ionizante, muitas vezes, ou são confundidos, ou não são conhecidos pelos estudantes; parte dos alunos possui ideias vagas, desarticuladas e pessimistas sobre radiação; em geral, os livros didáticos voltados para o ensino básico são confusos e apresentam as relações da radiação com a radiologia de maneira ilustrativa; licenciandos e professores, em geral, não se sentem confiantes em ensinar esses assuntos, principalmente devido ao fator interdisciplinaridade, à ausência de conhecimentos mais aprofundados sobre o assunto e à ausência de materiais didáticos; a televisão é uma importante fonte de informação sobre as radiações.

Há que se observar que Parisoto, Pinheiro e Moro (2015) realizaram uma revisão de literatura semelhante à nossa. Apresentamos, a seguir, uma breve síntese da metodologia adotada pelos autores e dos resultados por eles obtidos, destacando também diferenças em relação a este trabalho.

Parisoto, Pinheiro e Moro (2015) revisaram publicações no escopo da área de ensino de física/ciências sobre a física aplicada à medicina. Considerando o período de 2000 a 2012, não foi observado ao longo dos anos aumento de publicações sobre a temática nos 41 periódicos nacionais e internacionais consultados (todos presentes nos estratos A1, A2 e B1 da avaliação Qualis da CAPES). Entre 2000 e 2006 foram encontrados 25 artigos e entre 2007 e 2012 foram encontrados 26 artigos. Do total de 52 trabalhos selecionados pelos autores (51 publicados em periódicos mais um apresentado em um evento científico), 22 tinham enfoque no ensino e apenas nove foram produzidos por pesquisadores da área de ensino de ciências. Apenas um dos artigos teria explicitado seu referencial teórico. Os trabalhos selecionados foram alocados em uma ou mais das seguintes categorias: concepções de estudantes sobre a física aplicada à medicina (sete trabalhos); avaliação de cursos introdutórios de física aplicada à medicina (cinco trabalhos); novas propostas de estratégias didáticas (20 trabalhos) e artigos de divulgação científica (28 trabalhos). Outro conjunto com as seguintes cinco categorias também foi utilizado pelos autores: estudo de fluidos corporais; radiações; abordagens históricas; uso de equipamentos que aplicam a física à medicina; e influência da mídia. Especificamente na categoria radiações, foram alocados vinte artigos. Por fim, Parisoto, Pinheiro e Moro (2015) consideraram pequeno o número de trabalhos encontrados. Ressaltaram, especialmente, a escassez de investigações acerca das concepções prévias de estudantes sobre a física aplicada à medicina e de trabalhos a respeito de como os equipamentos médicos funcionam.

As principais diferenças da investigação desenvolvida por Parisoto, Pinheiro e Moro (2015) em relação à esta recaem sobre os fatos de que: buscamos apenas trabalhos que abordam as relações entre o tópico radiações e aspectos da medicina/saúde - e não trabalhos que abordam as relações entre qualquer tópico de física e a medicina; realizamos buscas também em trabalhos apresentados nos dois principais eventos científicos brasileiros da área de ensino de física, bem como em dissertações e teses; e selecionamos apenas publicações voltadas ao ensino básico ou à formação inicial e continuada de professores de física, desconsiderando publicações que sugeriram ou desenvolveram propostas didáticas em outros cursos ou níveis de ensino. Além disso, diferentemente do resultado obtido pelos autores, notamos que parece haver uma tendência de aumento de publicações sobre a temática que investigamos conforme evidenciado pelo gráfico da Figura 1 – construído a partir das informações presentes na Tabela 1. Nele, é possível observar que de 2003 a 2016 foram publicados 27 dos 31 trabalhos (87,1%) que selecionamos nesta revisão de literatura. As únicas exceções são os quatro trabalhos publicados por Miky Ronen e Uri Ganiel na década de 1980.

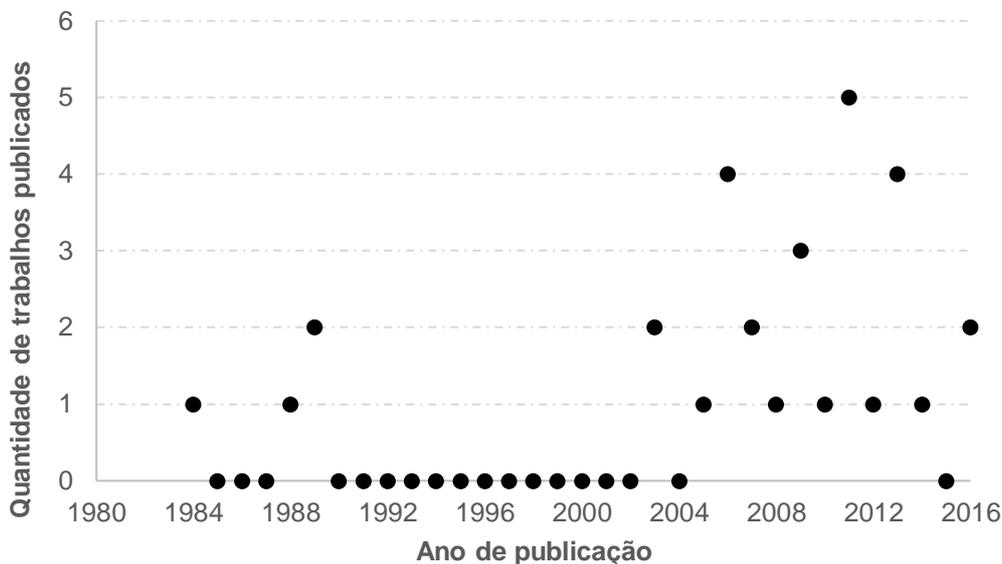


Figura 1 - Distribuição dos trabalhos selecionados ao longo do tempo

Finalizando, gostaríamos de apontar duas possíveis implicações deste trabalho: a necessidade de desenvolver e publicar mais estudos empíricos em que propostas didáticas focadas em abordar as inter-relações entre as radiações e aspectos da medicina/saúde sejam avaliadas (tanto no EM quanto na formação de professores de física); e a necessidade de desenvolver e publicar mais estudos cujo objetivo seja levantar as concepções prévias dos estudantes sobre o assunto, bem como investigar de que maneira eles podem desenvolver concepções cientificamente coerentes a partir de contatos com propostas didáticas que abordem as relações entre as radiações e a medicina/saúde.

REFERÊNCIAS

- Baram-Tsabari, A., & Yarden, A. (2005). Characterizing children's spontaneous interests in science and technology. *International Journal of Science Education*, 27(7), 803-826. [DOI:10.1080/09500690500038389](https://doi.org/10.1080/09500690500038389)
- Brasil, Ministério da Educação. (2002). *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (PCN+ Ensino Médio)*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>.
- Cakmakci, G., Sevindik, H., Pektas, M., Uysal, A., Kole F., & Kavak, G. (2012). Investigating Turkish Primary School Students' Interest in Science by Using Their Self-Generated Questions. *Research in Science Education*, 42(3), 469-489. [DOI:10.1007/s11165-010-9206-1](https://doi.org/10.1007/s11165-010-9206-1)
- Christidou, V. (2006). Greek Students' Science-related Interests and Experiences: Gender differences and correlations. *International Journal of Science Education*, 28(10) 1181-1199. [DOI:10.1080/09500690500439389](https://doi.org/10.1080/09500690500439389)
- Faêda, K. C., & Martins, M. I. (2013). Efeitos biológicos da radiação: avaliação de uma proposta para a licenciatura em física. In *Atas do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. São Paulo, SP. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0896-1.pdf>.
- Ferreira, L. S., Nascimento, L. S., Cruz, R. S. C., Nascimento, A. F., & Castro, C. S. (2013). Educar pela pesquisa e o ensino de física através de temas: valorizando a curiosidade dos estudantes. In *Atas do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. São Paulo, SP. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0830-1.pdf>.
- Fortunato, D., & Sauerwein, I. P. S. (2011). Radiações: o que os estudantes querem saber? In *Atas do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Manaus, AM. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0603-1.pdf>.

- Gibson, A. P., Cook, E., & Newing, A. (2006). Teaching Medical Physics. *Physics Education*, 41(4), 301-306. DOI:10.1088/0031-9120/41/4/001
- Jones, A. T., & Kirk, C. M. (1990). Gender differences in students' interests in applications of school physics. *Physics Education*, 25(6), 308-313. DOI:10.1088/0031-9120/25/6/304
- Jones, M. G., Howe, A., & Rua, M. J. (2000). Gender Differences in Students' Experiences, Interests, and Attitudes toward Science and Scientists. *Science Education*, 84(2), 180-192. DOI:10.1002/(SICI)1098-237X(200003)84:2<180::AID-SCE3>3.0.CO;2-X.
- Martins, M. I., & Faêda, K. C. M. (2009). Explorando o conceito de radiação com alunos do ensino médio: um estudo sobre telefonia celular. In *Atas do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Vitória, ES. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0268-2.pdf>.
- 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. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/epec/v12n3/1983-2117-epec-12-03-00065.pdf>.
- Moura, J. F. C. (2014). *Introduzindo Física Moderna no Ensino Médio a partir do Tema Estruturador Radiação Eletromagnética: luz, cores e aplicações médicas*. (Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Porto Alegre.. Recuperado de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/115455>
- 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 *Atas do XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Maresias, SP.
- Nicoli Junior, R. B., & Hosoume, Y. (2005). Representações sociais de radioterapia em crianças de classes hospitalares – contribuições para uma abordagem pedagógica. In *Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Rio de Janeiro, RJ. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0201-1.pdf>.
- Oliveira, F. F. (2006). *O ensino de física moderna com enfoque CTS: uma proposta metodológica para o ensino médio usando o tópico raios X*. (Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Rio de Janeiro), Rio de Janeiro. Recuperado de www.educacao.ufrj.br/ppge/dissertacoes/fabiooliveira.pdf
- Oliveira, F. F., & Vianna, D. M. (2006). O ensino de Física Moderna, com enfoque CTS: um tópico para o Ensino Médio – Raios X. In *Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Londrina, PR. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/atas/resumos/T0101-2.pdf>.
- 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, 239-242. DOI:10.1119/1.4944368
- Parisoto, M. F. (2011). *O ensino de conceitos do eletromagnetismo, óptica, ondas, e física moderna e contemporânea através de situações na medicina*. (Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Porto Alegre. Recuperado de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/56668/000853008.pdf>
- Parisoto, M. F., Moro, J. T., & Moreira, M. A. (2011a). O Ensino de Física a partir do estudo da ultrassonografia, da produção e interação da radiação com o corpo humano: uma abordagem contextualizada. In *Atas do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Manaus, AM. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0436-1.pdf>.
- Parisoto, M. F., Moro, J. T., & Moreira, M. A. (2011b). Teoremas e Conceitos-em-Ação na Física Aplicada na Medicina. In *Atas do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Manaus, AM. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0436-2.pdf>.

- Parisoto, M. F., Pinheiro, L. A., & Moro, J. T. (2015). A Literature Review on Applied Physics in Medicine in the Context of Teaching. *Investigações em Ensino de Ciências*, 20(1), 60-78. DOI:10.22600/1518-8795.ienci2016v20n1p60
- Pietrocola, M., Sousa, W. B., & Ueta, N. (2007). "Investigando e Explicando os Raios X" - Atividades investigativas sobre os Raios X com alunos do Ensino Médio. In *Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. São Luís, MA. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0566-1.pdf>.
- Prestes, M., Cappelletto, E., & Santos, A. C. K. (2008). Concepções dos estudantes sobre radiações. In *Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Curitiba, PR. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/atas/resumos/T0274-1.pdf>.
- Rego, F., & Peralta, L. (2006). Portuguese students' knowledge of radiation physics. *Physics Education*, 41(3), 259-262. DOI:10.1088/0031-9120/41/3/009
- Rodrigues, M. E. S., Rollo, J. M. D. A., Malosso, T. G., & Silva, J. H. (2003). Falando de Física Médica na escola: Como mostrar ao aluno do ensino médio a importância e o papel da Física na Medicina? In *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Curitiba, PR. Recuperado de http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xv/atas/atas_XV_SNEF.zip
- 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. DOI:10.1080/0950069880100505
- Ronen, M., & Ganiel, U. (1989b). Physics in action - visiting a hospital. *Physics Education*, 24(1), 18-21. DOI:10.1088/0031-9120/24/1/30
- Ronen, M., & Ganiel, U. (1984). Physics in medical diagnosis - an optional unit for high schools. *Physics Education*, 19(6), 288-291. DOI:10.1088/0031-9120/19/6/309
- 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. DOI:10.1080/0263514890070110
- Schreiber, S. C., Stori, A., Camargo, S., Hilger, T. R., & Samojeden, L. L. (2016). Desenvolvendo atividades sobre a produção de raios x em aulas de física no ensino médio. In *Atas do XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Natal, RN. Recuperado de <http://www1.sbfisica.org.br/eventos/enf/2016/sys/resumos/T1087-2.pdf>
- Silva, A. C. (2013). *Leitura sobre ressonância magnética nuclear em aulas de física do ensino médio*. (Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Estadual de Campinas), Campinas. Recuperado de http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/250811/1/Silva_AndreCoelhoda_M.pdf
- Silva, D. N. G., & Pereira, M. V. (2011). Análise preliminar da temática radiações ionizantes em livros didáticos do nono ano do ensino fundamental. In *Atas do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Manaus, AM. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0015-3.pdf>
- Silva, R. C., & Rosa, P. R. S. (2013). A apropriação de linguagens relacionadas a conceitos de física e cinematografia, de alunos da 3ª série do ensino médio, a partir da produção de filmes sobre radiações ionizantes. In *Atas do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. São Paulo, SP Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0536-2.pdf>.
- Siqueira, M., Pietrocola, M., & Ueta, N. (2007). A física moderna e contemporânea em sala de aula: uma atividade com os raios X. In *Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. São Luís, MA. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/resumos/T0410-1.pdf>.
- Sousa, W. B. (2009). *Física das radiações: uma proposta para o ensino médio*. (Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo), São Paulo. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-17092012-141621/pt-br.php>.

- Souza, A. J., & Araújo, M. S. T. (2009). A elaboração de um pôster como material didático para abordar conceitos de produção de raios X e radioproteção em aulas de física. In *Atas do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Vitória, ES. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0101-1.pdf>.
- Vieria, S. A. (2003). Introdução de Física Moderna no ensino médio através de um caso de tratamento radioterápico. In *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Curitiba, PR. Recuperado de http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xv/atas/atas_XV_SNEF.zip
- Weltner, K., Liebig, H., Halbow, D., Maichle, U., Reitz, H., & Schönfeld, G. (1980). Interest of Intermediate-Level Secondary Students in Physics and Technology. *European Journal of Science Education*, 2(2), 183-189. DOI:10.1080/0140528800020209
- Yerdelen-Damar, S., & Eryilmaz, A. (2010). Questions About Physics: The Case of a Turkish 'Ask a Scientist' Website. *Research in Science Education*, 40(2), 223–238. DOI:10.1007/s11165-008-9119-4

Recebido em: 24.10.2016

Aceito em: 21.08.2017