



UM QUESTIONÁRIO CONCEITUAL SOBRE RADIAÇÕES: PROCESSO DE ELABORAÇÃO E ANÁLISE DOS DISTRADORES

A CONCEPTUAL QUESTIONNAIRE ON RADIATIONS: FORMULATION PROCESS AND ANALYSIS OF DISTRACTORS

UN CUESTIONARIO CONCEPTUAL SOBRE RADIACIONES: PROCESO DE FORMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DISTRADORES

André Coelho da Silva*

Cómo citar este artículo: Coelho da Silva, A. (2019). Um questionário conceitual sobre radiações: processo de elaboração e análise dos distratores. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 14(1), 63-79. DOI: <http://doi.org/10.14483/23464712.13113>

Resumo

Considerando a relevância do tema radiações no escopo da Física Moderna e Contemporânea e a pertinência em pensar e propor estratégias para investigar a compreensão conceitual de estudantes a respeito dos conteúdos de ensino, apresentamos o processo de elaboração de treze questões múltipla escolha que abarcam tópicos como raios X, emissões radioativas, radiações ionizantes e radiações não ionizantes. Concomitantemente à apresentação das questões, discutimos os raciocínios que poderiam levar os estudantes a assinalar os distratores propostos. Dada a escassez de artigos científicos sobre o assunto, especialmente no âmbito da literatura brasileira, esperamos que este trabalho possa de alguma forma inspirar o desenvolvimento e a publicação de investigações que visem a pensar aspectos associados à elaboração, à utilização e à análise de questionários conceituais de física.

Palavras chaves: questionário, radiações, distratores, física moderna e contemporânea.

Abstract

Considering the relevance of radiations topic in the scope of Contemporary and Modern Physics, and the pertinence in thinking and proposing strategies to investigate students' conceptual understanding on teaching content, we present the process of elaboration of thirteen multiple choice questions that cover topics such as X rays,

Recibido: 13 de marzo de 2018; aprobado: 22 de mayo de 2018

* Licenciado em Física e Doutor em Educação pela Unicamp (Brasil). Professor do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), campus Itapetininga (Brasil). Correio eletrônico: andrecoelho@ifsp.edu.br - ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1354-4034>

radioactive emissions, ionizing radiation, and non-ionizing radiation. Concomitantly with the questions presented, we discussed the logic that could lead students to point out the proposed distractors. Because of lack of scientific articles on this subject, especially in Brazilian literature context, we hope that this work may somehow inspire development and publication of research aimed at thinking about aspects associated with elaboration, use, and analysis of physics conceptual questionnaires.

Keywords: Questionnaire, Radiations, Distractors, Contemporary and Modern Physics.

Resumen

Considerando la relevancia del tema de las radiaciones en el ámbito de la física moderna y contemporánea y la pertinencia en pensar y proponer estrategias para investigar la comprensión conceptual de los estudiantes acerca de los contenidos de enseñanza, se presenta el proceso de elaboración de trece cuestiones de elección múltiple que abarcan temas como rayos X, emisiones radiactivas, radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes. Concomitantemente a la presentación de las cuestiones, se discuten los razonamientos que podrían llevar a los estudiantes a señalar a los distratores propuestos. Dada la escasez de artículos científicos sobre el tema, especialmente en el ámbito de la literatura brasileña, se espera que este trabajo pueda de alguna forma inspirar el desarrollo y la publicación de investigaciones que busquen pensar aspectos asociados a la elaboración, la utilización y el análisis de cuestionarios conceptuales de física.

Palabras clave: cuestionario, radiaciones, distratores, física moderna y contemporánea.



Introdução e Justificativas

A pertinência em abordar tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio (EM) tem sido tão amplamente justificada nas últimas décadas que atualmente parece haver certo consenso no que diz respeito a essa posição, seja entre pesquisadores da área de ensino de física ou entre professores de física do ensino médio - ao menos entre aqueles que cursaram a licenciatura dos anos 2000 em diante.

Destaca-se, sobretudo, a influência exercida pelos desenvolvimentos da física ocorridos a partir do final do século XIX sobre a tecnologia e, conseqüentemente, sobre o modo de vida atualmente preponderante (Terrazan, 1992; Cuppari *et al.* 1997; Ostermann, Ferreira, Cavalcanti, 1998; Valadares, Moreira, 1998; Pinto, Zanetic, 1999; Pena, 2006; Guerra, Braga, Reis, 2007; Machado, Nardi, 2007; Silva, Almeida, 2011).

Tendo em vista a complexidade da linguagem matemática através da qual muitos conhecimentos de FMC foram produzidos/estruturados – fator que se constitui como uma das dificuldades associadas a trabalhá-los no EM (Pinto, Zanetic, 1999; Ostermann *et al.* 2009) -, há certo consenso também sobre a ideia de que só faz sentido levá-los para o EM se forem privilegiadas abordagens qualitativas – conceituais, histórico-filosóficas etc. (Silva, Almeida, 2011). Nesse sentido, faz-se pertinente investigar as concepções prévias e a compreensão conceitual de estudantes do EM e de futuros professores de física acerca de tópicos de FMC, bem como possíveis formas de realizar tais investigações.

Entre os diversos tópicos de FMC, físicos, pesquisadores em ensino de física e professores de física do EM que participaram de investigação conduzida por Ostermann, Moreira (1998) apontaram alguns deles como relevantes para a inserção no EM, entre eles: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, radioatividade,

dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, laser, supercondutores, partículas elementares e relatividade restrita. Em especial, defendemos a importância do tema radiações junto à formação dos estudantes. Justificamos tal defesa tendo em vista a intensa presença do tema nas diretrizes curriculares brasileiras para o EM e a relação entre as radiações e aspectos associados à medicina/saúde.

Nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+) seção Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias – Brasil (2002) -, há o tema estruturador “matéria e radiação”, presente na física e na química. Especificamente na física, ele é sugerido para a terceira série do EM e tem como objetivo propiciar uma compreensão mais abrangente sobre a constituição da matéria, possibilitando ao estudante identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos (Brasil, 2002)¹.

Para cada tema estruturador foram sugeridas unidades temáticas. As que se referem ao tema matéria e radiação são: 1) matéria e suas propriedades; 2) radiações e suas interações; 3) energia nuclear e radioatividade; 4) eletrônica e informática (Brasil, 2002). O trecho a seguir evidencia a relação entre as radiações e a área da saúde/medicina:

O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. Introduzir esses assuntos no ensino médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias etc.), acompanhar a discussão sobre os problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados

1. Há que se mencionar que em 2018 deverá ser homologada no Brasil a nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio. Nela irão constar os tópicos que deverão ser aprendidos pelos estudantes em cada disciplina. Parece ser pertinente encará-la, portanto, como um documento que irá suplantará os PCN e, nesse sentido, novos trabalhos poderão tomá-la como principal referência para analisar diretrizes curriculares.

para o desenvolvimento da informática. [...] Nessa abordagem, uma vez que a maior parte dos fenômenos envolvidos depende da interação da radiação com a matéria, será adequado um duplo enfoque: por um lado, discutindo os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes; por outro, caracterizando as radiações que compõem o espectro eletromagnético, por suas diferentes formas de interagir com a matéria. [...] A compreensão desses aspectos pode propiciar, ainda, um novo olhar sobre o impacto da tecnologia nas formas de vida contemporâneas, além de introduzir novos elementos para uma discussão consciente da relação entre ética e ciência. (Brasil, 2002 p. 77)

Diversos trabalhos têm apontado que estudantes do EM possuem interesse em compreender temas relacionados à área da saúde. Trata-se de estudos realizados em países com diferentes realidades educacionais e socioculturais como Alemanha (Weltner *et al.* 1980), Estados Unidos (Jones, Howe, Rua, 2000), Grécia (Christidou, 2006), Israel (Baram-Tsabari, Yarden, 2005), Nova Zelândia (Jones, Kirk, 1990), Turquia (Cakmakci *et al.* 2012; Yerdelen-Damar, Eryilmaz, 2010) e Brasil (Silva, 2013). Uma das possíveis explicações para esse interesse é o fato de que não há nada mais específico que a saúde pessoal, uma vez que a dor e o sofrimento, por exemplo, são acessíveis de forma direta e imediata apenas à pessoa que os sente (Roth, 2014).

Considerando a argumentação desenvolvida, temos como proposta apresentar o processo de elaboração de treze questões múltipla escolha de cunho conceitual sobre as radiações (raios X, emissões radioativas, radiações ionizantes e não ionizantes etc.). As questões foram formuladas tendo como público alvo licenciandos em física. Concomitantemente à apresentação das questões, discutimos os raciocínios que poderiam levar os licenciandos a assinalar os distratores (alternativas erradas) propostos. De fato, consideramos que é a compreensão desses possíveis raciocínios o fator de maior relevância para avaliar a fidedignidade do diagnóstico feito a partir da aplicação de uma questão de múltipla escolha.

A opção por elaborar um teste conceitual múltipla escolha enquanto instrumento que visa a identificar as concepções de licenciandos em física se justifica porque esse tipo de instrumento possui, a princípio, algumas vantagens em relação a outros como entrevistas e mapas conceituais. Entre tais vantagens podemos citar: a facilidade de aplicação, a objetividade no levantamento das respostas e a possibilidade de realização de análises estatísticas com os dados (Wuttirom *et al.* 2009).

Antes de abordarmos as questões elaboradas e a análise das mesmas, apresentamos na seção seguinte os resultados de um levantamento documental por meio do qual esboçamos um panorama das pesquisas sobre testes conceituais no ensino de física, destacando também os principais elementos que levamos em conta durante o processo de produção das questões e suas alternativas.

1. Sobre os Testes Conceituais no Ensino de Física

No início da década de 1990, Hestenes, Wells, Swackhamer (1992) publicaram um artigo em que descreviam o processo de produção de 29 questões múltipla escolha sobre o conceito newtoniano de força. O conjunto dessas questões foi denominado de inventário do conceito de força (FCI: force concept inventory). Por meio dele, os autores pretendiam avaliar as concepções dos estudantes no que diz respeito à cinemática, às Leis de Newton, ao princípio da superposição de vetores e aos tipos de força. Os distratores foram formulados de maneira coerente com concepções alternativas conhecidas pela literatura da área de ensino de física.

Após a publicação do FCI, muitos pesquisadores procuraram aperfeiçoá-lo, analisá-lo e utilizá-lo em diferentes contextos de ensino – a título de exemplo podemos citar Huffman, Heller (1995); Henderson (2002); Savinainen, Scott (2002a, 2002b); Rebello, Zollman (2004); Stewart, Griffin, Stewart (2007); Savinainen, Viiri (2008); Silva, Silva, Mansor (2009); Thornton *et al.* (2009); Nieminen, Savinainen, Viiri (2010).

Enquanto instrumentos para avaliar o entendimento conceitual e identificar concepções alternativas (Martin, Mitchell, Newell, 2003), diversos inventários foram desenvolvidos no âmbito da física, entre eles: sobre luz e espectroscopia: Bardar *et al.* (2006) e Bardar *et al.* (2007); sobre calor e energia: Prince, Vigeant, Nottis (2012); sobre eletromagnetismo: Notaros (2002); sobre astronomia e ciência espacial: Sadler *et al.* (2009); sobre mecânica dos fluidos: Martin, Mitchell, Newell (2003); sobre estática: Steif, Dantzer (2005); sobre as leis de Newton: Thornton, Sokoloff (1998); sobre as propriedades das estrelas: Lopresto, e Murrell (2009); sobre circuitos elétricos: Engelhardt, Beichner (2004) e Ogunfunmi, Rahman (2010); sobre astronomia: Hufnagel (2001); sobre eletricidade e magnetismo: Ding *et al.* (2006) e Maloney *et al.* (2001); sobre energia e momento: Singh, Rosengrant (2003); sobre os gráficos de cinemática: Beichner (1994); sobre ondas: Roedel *et al.* (1994); e sobre termodinâmica: Midkiff, Litzinger, Evans (2001) e Yeo, Zadnik (2001).

Quanto aos resultados obtidos a partir da aplicação desses testes conceituais, eles acabaram surpreendendo muitos professores e pesquisadores, pois foi possível notar que mesmo estudantes que eram capazes de resolver problemas matemáticos associados à física de maneira correta assinalavam alternativas incorretas como respostas para as questões propostas. E isso também ocorria em questões que eram consideradas conceitualmente triviais (Sadaghiani, Pollock, 2015).

Especificamente no campo da física moderna, encontramos instrumentos para avaliar o entendimento conceitual de tópicos como relatividade, mecânica ondulatória, física nuclear, física de partículas e física estatística: Akarsu (2011); relatividade especial: Aslanides, Savage (2013); e elementos de física quântica, incluindo o efeito fotoelétrico: Cataloglu, Robinett (2002); McKagan, Wieman (2006); Sadaghiani, Pollock (2015); Singh (2008) e Uscinski, Larkin (2011).

De fato, como indicam Uscinski, Larkin (2011), o número de testes conceituais existentes no âmbito da física clássica supera em boa medida aqueles que

tratam da FMC. Há que se ressaltar ainda que não encontramos nenhum trabalho publicado no Brasil que tenha como foco apresentar a elaboração e/ou analisar os resultados de aplicação de inventários de conceitos no âmbito dessa área da física. Além disso, no que se refere a questões específicas sobre as radiações, as encontramos apenas em Akarsu (2011).

Nos parágrafos seguintes, discutimos alguns pontos que levamos em conta durante o processo de elaboração de nosso questionário.

Segundo Sadaghiani, Pollock (2015) a elaboração de questões e alternativas de testes conceituais de múltipla escolha é uma tarefa longa e difícil, pois requer conhecimento sobre as respostas incorretas que os estudantes costumam dar. Nesse sentido, os distratores de cada uma das treze questões foram propostos tendo em vista concepções alternativas conhecidas pela literatura da área de ensino de física, a experiência que adquirimos ministrando disciplinas de FMC num curso de licenciatura em física e aplicações das questões que temos feito durante as aulas. Vale explicitar que entendemos concepções alternativas como concepções “que diferem das aceitas pela comunidade científica” (Gravina, Buchweitz, 1994 p. 110).

Procuramos levar em conta também a sugestão de que as alternativas formuladas para uma questão sejam coerentes com a linguagem que costuma ser usada pelos estudantes, tornando-se distratores significativos para identificar possíveis concepções alternativas (Sadaghiani, Pollock, 2015).

Há que se considerar ainda a dificuldade em formular questões de cunho conceitual que não se limitem a cobrar do estudante a escrita ou a escolha de alternativas que tragam supostas definições – questões que, em nossa opinião, pouco podem contribuir junto à avaliação da aprendizagem, tais como “O que diz o princípio da incerteza de Heisenberg?”, “Quais são os dois postulados de Einstein no âmbito da relatividade restrita?” etc. Indo de encontro a esse tipo de questão, procuramos elaborar perguntas cujo enunciado remetesse a situações contextuais - nesse aspecto Yeo, Zadnik (2001) se constituíram como principal fonte de inspiração - e

para as quais a solução não dependesse exclusivamente da memorização de supostas definições, mas também da correta interpretação da situação e do efetivo relacionamento de ideias.

Notamos que algumas questões que compõem os testes conceituais associados à FMC elaborados por Cataloglu, Robinett (2002); McKagan, Wieman (2006); Singh (2008); Akarsu (2011); Uscinski, Larkin (2011); Aslanides, Savage (2013) e Sadaghiani, Pollock (2015) remetem à interpretação de equações e da notação por elas utilizada. Como as questões que formulamos têm como público alvo licenciandos – e, conseqüentemente, suas futuras atuações como professores do ensino médio –, defendemos que o entendimento de elementos relacionados às equações da física não é o foco, até porque, conforme já comentado, o formalismo matemático da FMC, em geral, é bastante complexo.

Iniciamos a elaboração das treze questões apresentadas a seguir no segundo semestre de 2015 e, desde então, as utilizamos como instrumento de avaliação da aprendizagem em uma disciplina que lecionamos em um curso de licenciatura em física de uma instituição pública brasileira. Vale pontuar que se trata de uma disciplina da área de ensino de física em que procuramos discutir as principais concepções alternativas no escopo da FMC, trabalhar elementos conceituais e históricos relacionados ao seu desenvolvimento e pensar possíveis estratégias e recursos didáticos para sua abordagem no nível médio. Assim, não se trata de uma disciplina em que os tópicos de FMC são trabalhados recorrendo ao formalismo matemático associado à física, mas sim de uma disciplina de cunho predominantemente pedagógico.

Efetuamos a aplicação do questionário da seguinte maneira: i) projetamos em uma tela as questões, uma de cada vez, lendo o enunciado e as alternativas em voz alta; ii) após o término da leitura, damos um minuto para os licenciandos – organizados em duplas ou trios – decidirem qual das alternativas acham ser a correta; iii) ao final desse tempo, pedimos para que eles levantem uma folha de papel em que esteja escrita a letra correspondente à alternativa

escolhida; iv) anotamos as opções feitas pelos grupos e passamos à correção das questões, discutindo porque apenas uma das alternativas está correta.

Conforme mencionado anteriormente, após cada aplicação do questionário, temos reformulado o enunciado das questões e as alternativas propostas, visando a melhorá-las. Para exemplificar de que forma essas alterações têm ocorrido, apresentamos a seguir a primeira versão de uma das questões:

João leu que há três tipos de radiações emitidas por elementos radioativos: alfa, beta e gama. Seus amigos complementaram das seguintes maneiras. Qual deles está correto?

a) Maria: “Os raios alfa são como núcleos do elemento químico Hélio: possuem apenas dois prótons”.

b) José: “Os raios beta podem ser negativos ou positivos, elétrons ou pósitrons” [ALTERNATIVA CORRETA].

c) João: “Os raios gama são ondas eletromagnéticas, positivas ou negativas”.

d) Ivone: “Os raios alfa são mais penetrantes que os beta e os gama, pois possuem maior massa”.

e) Regina: “Os raios gama possuem maior poder de ionização em comparação com os alfa e os beta”.

Essa questão, após sucessivas reformulações, deu origem às questões 8 e 9 apresentadas na próxima seção deste trabalho. De fato, notamos que ela englobava dois tópicos associados à radioatividade: a natureza das emissões radioativas e características a elas associadas – em específico, seus poderes de penetração e ionização, os quais estão inter-relacionados. Dessa forma, a primeira alteração realizada foi desmembrar essa questão em duas, para que cada uma delas abordasse apenas um tópico. Com isso, acreditamos ter ampliado o potencial avaliativo do questionário, afinal, os estudantes passaram a ter mais distratores versando sobre a natureza das emissões radioativas e seus poderes de ionização e penetração.

As alternativas também foram alteradas: a “a”, por exemplo, foi modificada de modo a evitar a menção ao núcleo do elemento Hélio. Justificamos

essa opção por considerarmos que sua redação possibilitava a interpretação de que apenas o número de prótons estava sendo levado em conta para realizar a comparação e não as constituições dos raios alfa e do núcleo de Hélio como um todo. Em outras palavras: está correto afirmar que, assim como o Hélio, os raios alfa possuem dois prótons. Logo, o que tornava essa alternativa um distrator era a palavra “apenas”. Entretanto, esse “apenas” pode ser interpretado como um indicativo de que a quantidade de prótons é pequena e não como um indicativo de que a alternativa está levando em conta a totalidade dos constituintes do núcleo de Hélio e dos raios alfa. Dada a sutileza desse distrator, o reformulamos: “Um raio alfa é composto por dois prótons. Portanto, esse tipo de emissão diminui o número de massa do elemento em duas unidades”. Com essa redação, procuramos evitar a ambiguidade que existia, pois um estudante que saiba que um raio alfa possui também dois nêutrons tende a concluir que a emissão desse tipo de radiação acarretará na diminuição do número de massa do elemento radioativo em quatro unidades – o que o fará notar que se trata de uma alternativa errada.

As outras alternativas dessa questão também foram modificadas, entretanto, dado o objetivo deste trabalho e a limitação de espaço, não daremos aqui detalhes de todo esse processo. Vale frisar, contudo, que as alterações efetuadas nessa e em outras questões estão pautadas na tentativa de: evitar a ocorrência de ambiguidades; abordar aspectos conceituais que consideramos importante avaliar; e englobar como distratores concepções alternativas comuns entre estudantes e/ou professores.

2. Questões Elaboradas e seus Distratores: Alguns Apontamentos

Conforme explicitamos, as questões elaboradas tratam do tema radiações. Nesse sentido, há questões sobre raios X, emissões radioativas (raios alfa, raios beta e raios gama), radiações ionizantes e não-ionizantes. Cada questão conta com cinco alternativas e apenas uma delas está correta. Após a apresentação

de cada questão, efetuamos alguns apontamentos sobre os distratores elaborados.

As questões de 1 a 5 tomam como contexto a realização de uma radiografia pela personagem fictícia Maria.

1) Por solicitação de seu dentista, Maria irá realizar uma radiografia dentária. Curiosa sobre os mecanismos envolvidos, ela pediu a seus colegas que cursam física explicações sobre o assunto. Eles lhe responderam da seguinte maneira. Qual deles está correto de acordo com a física?

a) Ivone: “Para produzir os raios X que irão ser usados pelo aparelho de radiografia são utilizados elementos radioativos”.

b) Marcos: “É importante colocar aquele colete de chumbo no tórax para evitar se expor à radioatividade que o aparelho emite”.

c) Suzane: “Os raios X são radiações produzidas por meio da desaceleração de elétrons bastante rápidos” [ALTERNATIVA CORRETA].

d) Igor: “O aparelho de radiografia emite nêutrons que ao atingirem o nosso corpo podem ou não conseguir atravessá-lo”.

e) Fabiana: “Os ossos do corpo deixam passar os raios X. Já os músculos e outros tecidos moles o absorvem”.

As alternativas “a” e “b” foram formuladas tendo em vista as concepções alternativas de que raios X e radioatividade são sinônimos e de que os elementos radioativos emitem raios X. A alternativa “d” traz consigo a concepção alternativa de que o aparelho de radiografia se utiliza de um feixe de partículas para a produção das imagens. Já a alternativa “e” está relacionada à concepção alternativa de que os raios X são capazes de atravessar tecidos mais densos como os ossos, mas não tecidos menos densos como os músculos. A experiência na observação de regiões claras e escuras em uma imagem radiográfica também pode levar à assinalação dessa alternativa, pois o fato de as regiões mais claras representarem os ossos tende a levar-nos à conclusão de que elas são as mais atingidas pelos raios X.

2) Na semana seguinte, Maria contou a seus colegas que durante a radiografia teve que usar um colete de chumbo para proteger seu tórax e seu abdome. Ela lhes questionou o motivo disso. Qual dos colegas deu a explicação correta de acordo com a física?

a) Ivone: “O colete serve para que os elementos radioativos não entrem em contato com seu corpo”.

b) Marcos: “O colete serve para que a radiação emitida pelos elementos radioativos não entre em contato com seu corpo”.

c) Suzane: “O colete tem como função manter a pessoa com a postura corporal correta durante o exame”.

d) Igor: “A função do colete é bloquear os raios X emitidos pelos elementos radioativos presentes no interior do aparelho”.

e) Fabiana: “O colete serve para evitar que os raios X atinjam partes do corpo de forma desnecessária” [ALTERNATIVA CORRETA].

As alternativas “a”, “b” e “d” foram formuladas tendo em vista as concepções alternativas de que raios X e radioatividade são sinônimos, de que os aparelhos de radiografia se utilizam de elementos radioativos no processo de produção das imagens radiográficas e de que elementos radioativos são capazes de emitir raios X. A alternativa “a” implicaria em uma contaminação radioativa. Já as alternativas “b” e “d” implicariam em sermos irradiados pela radiação emitida por elementos radioativos - quando, na verdade, somos irradiados pelos raios X produzidos pelo aparelho de maneira artificial. A alternativa “c” não tem como base nenhuma concepção alternativa, constituindo-se, a princípio, como um distrator ineficiente.

3) Alarmada com os possíveis riscos decorrentes da realização da radiografia dentária, Maria pediu a seus colegas para especificarem se havia de fato algum risco envolvido. Eles lhe responderam da seguinte maneira. Qual deles está correto de acordo com a física?

a) Ivone: “Os riscos são totalmente desprezíveis, pois os raios X não têm energia suficiente para causar danos ao ser humano”.

b) Marcos: “Os riscos são mínimos, mas existem, afinal, os raios X têm energia suficiente para causar danos ao ser humano” [ALTERNATIVA CORRETA].

c) Suzane: “Os riscos são grandes, pois a exposição aos raios X sempre causa câncer no futuro”.

d) Igor: “Os riscos são mínimos. O máximo que pode ocorrer é vermelhidão na pele”.

e) Fabiana: “Os riscos são grandes, tanto é que algumas pessoas perdem o cabelo nos dias seguintes após o exame”.

A alternativa “a” tem como base a consideração de que os raios X são radiações não-ionizantes, não tendo energia suficiente para causar danos à saúde humana. A alternativa “c” investe na concepção alternativa de que a relação entre se expor a pequenas doses de radiação ionizante e desenvolver doenças no futuro é de cunho determinístico – quando, na verdade, é de cunho probabilístico. As alternativas “d” e “e” trazem consigo a concepção alternativa de que a realização de radiografias pode acarretar em efeitos agudos como vermelhidão na pele e queda de cabelo, efeitos que só ocorrem quando a exposição à radiação ionizante ocorre em doses relativamente altas – o que não é o caso dos exames de diagnóstico médico por imagem como a radiografia.

4) Ainda confusa sobre os efeitos maléficos que a realização de uma radiografia pode causar ao ser humano, Maria pediu para seus colegas detalharem quais e de que tipos seriam tais efeitos. Qual dos colegas deu a resposta correta de acordo com a física?

a) Ivone: “Como numa radiografia somos expostos a uma dose relativamente pequena de radiação ionizante, futuramente, isso pode levar ao desenvolvimento de tumores. Ainda que a probabilidade seja pequena” [ALTERNATIVA CORRETA].

b) Marcos: “Como numa radiografia somos expostos a uma dose relativamente pequena de radiação ionizante, não há a possibilidade de haver qualquer efeito, seja logo após o exame ou no futuro”.

c) Suzane: “Como numa radiografia somos expostos a uma dose relativamente alta de radiação ionizante, nas horas ou dias após o exame podemos sentir

efeitos agudos como vermelhidão na pele, queda de cabelo e mal-estar”.

d) Igor: “Como numa radiografia somos expostos a uma dose relativamente alta de radiação ionizante, futuramente, isso pode levar ao desenvolvimento de tumores”.

e) Fabiana: “Como numa radiografia não somos expostos à radiação ionizante, mas sim aos raios X, não há qualquer tipo de possível efeito maléfico, nem a curto e nem a longo prazo”.

Os distratores dessa questão combinam dois pares de concepções alternativas: a de que a dose de radiação ionizante que recebemos em radiografias é relativamente alta (alternativas “c” e “d”) ou inexistente (alternativa “e”); e a de que os possíveis efeitos em realizar uma radiografia são agudos (alternativa “c”) ou inexistentes (alternativas “b” e “e”).

5) Convencida pelos colegas de que a realização de uma radiografia implica em possíveis efeitos maléficos a longo prazo, Maria gostaria de entender o motivo disso. Seus colegas lhe responderam da seguinte maneira. Qual deles está correto de acordo com a física?

a) Ivone: “É que radiações ionizantes como os raios X têm energia suficiente para arrancar elétrons de nossos átomos” [ALTERNATIVA CORRETA].

b) Marcos: “É que radiações ionizantes como os raios X têm energia suficiente para quebrar os núcleos de nossos átomos”.

c) Suzane: “É que radiações ionizantes como os raios X têm energia suficiente para arrancar nêutrons de nossos átomos”.

d) Igor: “É que radiações ionizantes como os raios X têm energia suficiente para fazer nossos átomos vibrarem de forma mais acentuada”.

e) Fabiana: “É que radiações ionizantes como os raios X têm energia suficiente para causar a fusão de nossos átomos”.

Embora todos os distratores apontem de maneira correta os raios X como um tipo de radiação ionizante, eles diferem entre si no que diz respeito à

forma como as radiações ionizantes agem quando em contato com os átomos que compõem o corpo humano. A alternativa “b” traz consigo a concepção alternativa de que os raios X são capazes de fissionar nossos átomos. Estudantes que tenham algum conhecimento sobre o processo de geração de energia em usinas nucleares podem acabar assinalando essa alternativa ao lembrarem que nesse tipo de usina ocorre a fissão nuclear do material utilizado como combustível (em geral, compostos de urânio). Já a alternativa “d” traz consigo a concepção alternativa de que os raios X são capazes de agitar nossos átomos, algo semelhante ao efeito da radiação (não-ionizante, isto é, menos energética) utilizada pelos fornos de micro-ondas. Estudantes que tenham algum conhecimento sobre o funcionamento desse artefato tecnológico podem acabar assinalando essa alternativa por acreditarem se tratar do mecanismo pelo qual todas as radiações interagem com a matéria. As alternativas “c” e “e” não têm como base nenhuma concepção alternativa, constituindo-se, a princípio, como distratores ineficientes.

As questões de 6 a 13 tomam como contextos a visualização de um documentário sobre radioatividade por João e a realização de um exame de tomografia por emissão de pósitron (PET) por seu pai.

6) João assistiu um documentário sobre radioatividade e ficou em dúvida sobre a diferença entre os conceitos de radiação, radiação ionizante, raios X e radioatividade. Seus colegas responderam o seguinte. Qual deles está correto do ponto de vista da física?

a) Ademir: “Radiação e radiação ionizante são sinônimos, pois toda radiação é ionizante”.

b) Jéssica: “Raios X e radioatividade são sinônimos, pois todo elemento radioativo emite raios X”.

c) Marcos: “Pelo fenômeno da radioatividade, elementos radioativos emitem radiações. Elas podem ser ionizantes ou não”.

d) Rafaela: “Todos os tipos de radiação ionizante são provenientes de elementos radioativos”.

e) Arnaldo: “Apenas alguns tipos de radiação são ionizantes. Os raios X, por exemplo” [ALTERNATIVA CORRETA].

A alternativa “a” foi formulada tendo em vista a concepção alternativa de que toda radiação causa danos ao ser humano, quando, na verdade, apenas as radiações ionizantes têm energia suficiente para causar danos aos seres humanos (embora haja controvérsias a respeito no âmbito da própria ciência). A alternativa “b” tem como base a confusão entre raios X e radioatividade. A alternativa “c” indica que as radiações emitidas por elementos radioativos podem não ser ionizantes. Entretanto, tanto os raios gama quanto os raios alfa e beta são ionizantes. Já a alternativa “d” está relacionada à concepção alternativa de que as radiações ionizantes só podem ser emitidas por elementos radioativos. Em síntese, portanto, os distratores dessa questão se fundamentam em sentidos que costumam circular pelo senso comum, como os de que a palavra “radiação” está relacionada à radioatividade e implica em perigo.

7) O documentário que João assistiu mencionava que no final do século XIX os cientistas notaram que as radiações emitidas por elementos radioativos eram extremamente duradouras. Tentando sanar a curiosidade de João a respeito da origem dessas emissões, seus colegas explicaram da seguinte maneira. Qual deles está correto do ponto de vista da física?

a) Ademir: “Isso ocorre porque os elementos radioativos absorvem muita radiação solar para depois emitir outros tipos de radiação”.

b) Jéssica: “Isso ocorre porque os elementos radioativos se envolvem em reações químicas que liberam energia”.

c) Marcos: “Isso ocorre porque os elementos radioativos absorvem energia do ambiente de maneira contínua a fim de emitirem radiação”.

d) Rafaela: “Isso ocorre porque os núcleos atômicos dos elementos radioativos sofrem transformações” [ALTERNATIVA CORRETA].

e) Arnaldo: “Isso ocorre porque os elétrons atômicos dos elementos radioativos absorvem energia para depois reemiti-la”.

As alternativas “a” e “c” estão relacionadas a concepções alternativas que em determinados

momentos históricos foram defendidas pelos próprios cientistas que estavam estudando o fenômeno da radioatividade. Henri Becquerel, tido como o descobridor da radioatividade, interpretou o fenômeno como um tipo especial de fosforescência – algo como se o material estocasse energia recebida de outra fonte para depois reemiti-la (Martins, 1990). A própria Marie Curie, defensora da ideia de que a energia emitida pelos elementos radioativos era proveniente do próprio material, num primeiro momento, sugeriu que eles absorviam radiação do ambiente para depois reemiti-la (Martins, 2003). A alternativa “b” investe na concepção alternativa de que a radioatividade tem relação com reações químicas, necessitando de reagentes, por exemplo. Já a alternativa “e” foi formulada tendo em vista a concepção alternativa de que a radioatividade é um fenômeno eletrônico, quando, na verdade, trata-se de um fenômeno nuclear.

8) João lembrou que os elementos radioativos podem emitir três tipos de radiação: raios alfa, raios beta e raios gama. Seus colegas complementaram das seguintes maneiras. Qual deles está correto do ponto de vista da física?

a) Ademir: “Um raio beta nada mais é do que um elétron. Esse tipo de emissão tem origem fora do núcleo do elemento, isto é, na eletrosfera”.

b) Jéssica: “Um raio alfa é composto por dois prótons. Portanto, esse tipo de emissão diminui o número de massa do elemento em duas unidades”.

c) Marcos: “Um raio gama é uma onda eletromagnética. Logo, esse tipo de emissão não acarreta a transmutação do elemento radioativo” [ALTERNATIVA CORRETA].

d) Rafaela: “A emissão de um raio beta não implica na ocorrência de uma transmutação, pois o número de prótons e nêutrons do elemento não se altera”.

e) Arnaldo: “Os raios gama são similares aos raios X. A única diferença é que eles podem ser negativos ou positivos”.

A alternativa “a” foi formulada tendo em vista a concepção alternativa de que a radioatividade é

um fenômeno eletrônico. Nesse sentido, poderia se pensar que a emissão de um raio beta menos (um elétron extremamente rápido) ocorreria a partir da eletrosfera e não do núcleo atômico. A alternativa “b” conta com o esquecimento de que os raios alfa são compostos não apenas por dois prótons, mas também por dois nêutrons. A alternativa “d” investe no desconhecimento do processo pelo qual um raio beta é emitido – a transformação de um próton em um nêutron no decaimento beta mais e a transformação de um nêutron em um próton no decaimento beta menos. Nesse sentido, num decaimento beta, tanto o número de prótons quanto o número de nêutrons serão alterados. Já a alternativa “e” tem como base a concepção alternativa de que os raios gama podem ter carga elétrica, quando, na verdade, por serem ondas eletromagnéticas assim como os raios X, não faz sentido pensar em cargas elétricas.

9) Ainda sobre as características associadas a cada um dos três tipos de radiação emitidos pelos elementos radioativos, os colegas de João acrescentaram o seguinte. Qual deles está correto do ponto de vista da física?

a) Ademir: “Por terem carga elétrica, os raios alfa e os raios beta têm maior poder de penetração na matéria em comparação aos raios gama”.

b) Jéssica: “Por serem ondas eletromagnéticas e não terem carga elétrica, os raios gama têm maior poder de ionização em comparação aos raios alfa e beta”.

c) Marcos: “Os poderes de penetração na matéria e de ionização são inversamente proporcionais” [ALTERNATIVA CORRETA].

d) Rafaela: “Quanto maior o poder de penetração na matéria, maior o poder de ionização”.

e) Arnaldo: “Por terem maior massa, os raios alfa possuem maior poder de penetração em comparação aos raios beta e gama”.

As alternativas dessa questão exploram a forma pela qual os estudantes relacionam os conceitos de potencial de penetração na matéria e potencial de ionização. Do ponto de vista científico, radiações

(corpúsculares ou eletromagnéticas) sem carga elétrica tendem a penetrar distâncias maiores na matéria, pois as cargas elétricas das radiações podem interagir com as cargas elétricas da matéria – o que explica também o motivo pelo qual radiações com carga elétrica possuem maior poder de ionização. Assim, as alternativas “a”, “b” e “d” invertem a lógica associada a tais conceitos. Já a alternativa “e” investe na concepção alternativa de que quanto maior a massa da partícula, maior seu poder de penetração na matéria. A assinalação dessa alternativa pode ter como raciocínio a analogia com situações macroscópicas como a colisão entre um veículo e uma parede. Pode-se pensar: “Por ter maior massa, um caminhão conseguiria atravessar uma parede espessa, diferentemente de um carro”.

10) João lembrou que o documentário que assistiu também comentava sobre o conceito de meia-vida física. Seus colegas interviram e complementaram das seguintes maneiras. Qual deles está correto do ponto de vista da física?

a) Ademir: “Meia-vida é o tempo para que metade dos núcleos radioativos se transformem em outros núcleos” [ALTERNATIVA CORRETA].

b) Jéssica: “Meia-vida é o tempo para que metade dos núcleos deixem de ser radioativos”.

c) Marcos: “Meia-vida é o tempo para que metade dos núcleos se tornem radioativos”.

d) Rafaela: “O tempo de meia-vida depende bastante das condições de temperatura e pressão”.

e) Arnaldo: “Meia-vida é o tempo que um núcleo radioativo leva para decair”.

A alternativa “b” foi formulada tendo em vista a não consideração das chamadas séries radioativas: quando um núcleo radioativo decai ele se transforma em outro núcleo que também costuma ser radioativo. Somente após uma longa série de decaimentos é produzido um núcleo estável. A alternativa “c” implica na concepção alternativa de considerar que os elementos vão se tornando radioativos com o passar do tempo. A alternativa

“d” investe na concepção alternativa de que o tempo de meia-vida pode variar sensivelmente na dependência de fatores como temperatura e pressão, quando, na verdade, trata-se de um parâmetro que depende apenas de qual é o elemento radioativo em questão. Já a alternativa “e” está relacionada à concepção alternativa de que o conceito de meia-vida é determinístico e válido para núcleos de forma individual. Há que se lembrar, contudo, que tal conceito só faz sentido estatisticamente, ou seja, quando há uma amostra com muitos núcleos radioativos (um núcleo pode decair antes ou depois do tempo de meia-vida).

11) Alguns meses depois, o pai de João teve que realizar uma PET (tomografia por emissão de pósitrons). Pesquisando sobre o assunto, João leu que nesse tipo de exame são utilizados elementos tornados radioativos de forma artificial. Questionou então seus colegas a respeito de características da radioatividade induzida. Eles lhe responderam das seguintes maneiras. Qual deles está correto de acordo com a física?

a) Ademir: “A meia-vida dos elementos tornados radioativos por esse processo pode ser regulada”.

b) Jéssica: “Mesmo na radioatividade induzida não é possível controlar quando um núcleo radioativo vai emitir radiação” [ALTERNATIVA CORRETA].

c) Marcos: “A radioatividade induzida implica na transformação de elementos. Flúor se transforma em Urânio, por exemplo”.

d) Rafaela: “Pela radioatividade induzida é possível também remover a radioatividade de elementos radioativos”.

e) Arnaldo: “O conceito de meia-vida não pode ser aplicado a elementos radioativos produzidos por meio desse processo”.

A alternativa “a” investe na concepção alternativa de que na radioatividade induzida se pode escolher qual será a meia-vida do elemento produzido. A alternativa “c” tem como base a concepção alternativa de que seria possível transmutar elementos de maneira artificial, algo como uma alquimia. A alternativa “d” foi formulada tendo em vista a

concepção alternativa de que é possível cancelar a radioatividade de elementos radioativos, tornando-os estáveis. Já a alternativa “e” não tem como base nenhuma concepção alternativa, constituindo-se, a princípio, como um distrator ineficiente.

12) João disse que após fazer a PET seu pai teve que ficar isolado por algumas horas, sem contato com outras pessoas. Curioso sobre o motivo disso, João leu em uma página da internet que na PET o paciente fica radioativamente contaminado por algumas horas. Confuso sobre tal conceito, ele pediu para que seus colegas lhe dessem exemplos de outras situações em que uma pessoa fica contaminada e de situações em que não ocorre contaminação, mas somente irradiação. Qual dos colegas de João deu um exemplo correto de acordo com a física?

a) Ademir: “Quando uma pessoa faz uma radiografia ela fica contaminada pelos raios X”.

b) Jéssica: “Quando uma pessoa vai a Angra dos Reis, volta de lá contaminada por ficar próxima das usinas nucleares”.

c) Marcos: “Técnicos que trabalham tirando radiografias ficam contaminados pelos raios X”.

d) Rafaela: “Em acidentes nucleares como o da usina de Chernobyl as pessoas podem ser radioativamente contaminadas” [ALTERNATIVA CORRETA].

e) Arnaldo: “Pessoas que investigam acidentes radioativos usam máscaras para evitar serem irradiados”.

Ao oferecerem possíveis exemplos, todos os distratores dessa questão investem na compreensão deficiente dos conceitos de contaminação e irradiação. Destacamos as alternativas “a” e “c” como os distratores mais eficientes, pois parece fazer parte do senso comum a concepção alternativa de que os raios X vão se acumulando no ser humano. Ao realizarmos radiografias estaríamos sendo contaminados por esse tipo de radiação – o que seria ainda mais grave com relação aos técnicos que trabalham realizando tais exames.

13) O médico do pai de João explicou a ele que naturalmente estamos expostos à radiação ionizante proveniente dos raios cósmicos e de materiais como

o granito e a argila. Disse também que, na média mundial, cada pessoa recebe por ano uma dose de radiação ionizante proveniente de fontes naturais de cerca de 2,4 mSv. João gostaria de saber se os exames de diagnóstico médico por imagem implicam em doses maiores ou menores que essa. Seus colegas comentaram o seguinte. Qual deles está correto?

a) Ademir: “Uma radiografia dentária implica em receber uma dose de radiação ionizante maior que 5 mSv. Portanto, deve-se evitar tal tipo de exame”.

b) Jéssica: “Exames como a radiografia e a tomografia computadorizada não utilizam radiações ionizantes e, portanto, a dose recebida ao realizá-las é zero”.

c) Marcos: “Em geral as tomografias computadorizadas implicam em doses da ordem de 0,001 mSv. Logo, realizá-las não traz qualquer risco à saúde”.

d) Rafaela: “As tomografias computadorizadas costumam envolver doses maiores que 2,4 mSv. Em contrapartida, produzem imagens melhores que as radiografias” [ALTERNATIVA CORRETA].

e) Arnaldo: “Tanto as radiografias quanto as tomografias computadorizadas costumam envolver doses menores que 2,4 mSv”.

As alternativas dessa questão exploram a capacidade dos estudantes em relacionar/comparar as doses de radiação ionizante recebidas na realização de exames de diagnóstico médico por imagem com a dose de radiação ionizante recebida anualmente de fontes naturais. A alternativa “a” implica em um duplo equívoco: afirmar que nas radiografias as doses recebidas costumam ser maiores que 2,4 mSv e que tal tipo de exame deve ser evitado. A alternativa “b” tem como base a concepção alternativa de que nas radiografias e tomografias computadorizadas não são utilizadas radiações ionizantes – quando, na verdade, ambas utilizam raios X. A alternativa “c” também implica em um duplo equívoco: afirmar que nas tomografias computadorizadas as doses recebidas costumam ser menores que 2,4 mSv e que realizá-las não traz risco à saúde – vale ressaltar que a posição cientificamente dominante defende que qualquer exposição à radiação ionizante traz riscos à saúde humana (por menor que seja o valor

da dose envolvida). Já a alternativa “e” se equivoca ao afirmar que as tomografias computadorizadas também costumam envolver doses menores que 2,4 mSv.

3. Considerações Finais

Esperamos que este trabalho possa de alguma forma inspirar o desenvolvimento e a publicação de mais investigações que visem a pensar aspectos associados à elaboração, à utilização e à análise de questionários conceituais de física. Nesse sentido, talvez suas principais contribuições sejam a apresentação de um panorama das pesquisas sobre testes conceituais no ensino de física e a proposição de um questionário conceitual sobre um tema para o qual não encontramos questionários documentados. Por outro lado, acreditamos que sua principal limitação seja a não apresentação de resultados formais da aplicação das questões elaboradas. Consequentemente, esperamos que elas venham a ser aplicadas em diferentes oportunidades - não somente com turmas da nossa instituição -, possibilitando, assim, a coleta e a análise sistemática dos resultados obtidos pelos estudantes. Tais análises poderão proporcionar o aperfeiçoamento dos enunciados e especialmente das alternativas, pois elaborá-las foi a principal dificuldade com a qual nos deparamos. De fato, não se mostrou tarefa simples redigir alternativas que fomentassem os estudantes a pensar, inter-relacionando ideias para julgar suas pertinências. Em outras palavras: nossa maior dificuldade foi limitar o uso de alternativas que pudessem ser avaliadas como certas ou erradas apenas a partir da memorização de supostas definições da física.

Por fim, não descartamos a possibilidade de que as questões elaboradas possam ser usadas também no início do curso, funcionando como instrumentos para o levantamento de concepções prévias. Nesse caso, contudo, há que se considerar a pertinência em tentar adaptar os distratores das questões, uma vez que distratores que se mostram razoáveis ao final do curso podem não ser efetivos no início do mesmo (Rebello, Zollman, 2004).

4. Referências Bibliográficas

- AKARSU, B. Evaluating College Students' Conceptual Knowledge of Modern Physics: Test of Understanding on Concepts of Modern Physics (TUCO-MP). **European Journal of Physics Education**, Kayseri, Turquia, v. 2, n. 1, pp. 11-16, 2011.
- ASLANIDES, J. S.; SAVAGE, C. M. Relativity concept inventory: Development, analysis, and results. **Physical Review - Physics Education Research**, Nova York, EUA, v. 9, n. 1, pp. 1-10, 2013.
- BARAM-TSABARI, A.; YARDEN, A. Characterizing children's spontaneous interests in science and technology. **International Journal of Science Education**, Londres, Reino Unido, v. 27, n. 7, pp. 803-826, 2005.
- BARDAR, E. M. *et al.* The Need for a Light and Spectroscopy Concept Inventory for Assessing Innovations in Introductory Astronomy Survey Courses. **Astronomy Education Review**, Washington, EUA, v. 4, n. 2, pp. 20-27, 2006.
- BARDAR, E. M. *et al.* Development and Validation of the Light and Spectroscopy Concept Inventory. **Astronomy Education Review**, Washington, EUA, v. 5, n. 2, pp. 103-113, 2007.
- BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. **American Journal of Physics**, Melville, EUA, v. 62, n. 8, pp. 750-762, 1994.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA DA EDUCAÇÃO BÁSICA. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+)**. Brasília, 2002.
- CAKMAKCI, G. *et al.* Investigating Turkish Primary School Students' Interest in Science by Using Their Self-Generated Questions. **Research in Science Education**, Dordrecht, Holanda, v. 42, n. 3, pp. 469-489, 2012.
- CATALOGLU, E.; ROBINETT, R. W. Testing the development of student conceptual and visualization understanding in quantum mechanics through the undergraduate career. **American Journal of Physics**, Melville, EUA, v. 70, n. 3, pp. 238-251, 2002.
- CHRISTIDOU, V. Greek Students' Science-related Interests and Experiences: Gender differences and correlations. **International Journal of Science Education**, Londres, Reino Unido, v. 28, n. 10, pp. 1181-1199, 2006.
- CUPPARI, A. *et al.* Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. **Physics Education**, Bristol, Reino Unido, v. 32, n. 5, pp. 302-308, 1997.
- DING, L. *et al.* Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment. **Physical Review - Physics Education Research**, Nova York, EUA, v. 2, n. 1, pp. 1-7, 2006.
- ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. **American Journal of Physics**, Melville, EUA, v. 72, n. 1, pp. 98-115, 2004.
- GRAVINA, M. H.; BUCHWEITZ, B. Mudanças nas concepções alternativas de estudantes relacionadas com eletricidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Brasil, v. 16, n. 1-4, 1994.
- GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J. C. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Brasil, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.
- HENDERSON, C. Common Concerns About the Force Concept Inventory. **The Physics Teacher**, College Park, EUA, v. 40, n. 9, pp. 542-547, 2002.
- HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force Concept Inventory. **The Physics Teacher**, College Park, EUA, v. 30, n. 3, pp. 141-158, 1992.
- HUFFMAN, D.; HELLER, P. What does the force concept inventory actually measure? **The Physics Teacher**, College Park, EUA, v. 33, n. 3, pp. 138-143, 1995.
- HUFNAGEL, B. Development of the Astronomy Diagnostic Test. **Astronomy Education Review**, Washington, EUA, v. 1, n. 1, pp. 47-51, 2001.
- JONES, A. T.; KIRK, C. M. Gender differences in students' interests in applications of school physics.

- Physics Education**, Bristol, Reino Unido, v. 25, n. 6, pp. 308-313, 1990.
- JONES, M. G.; HOWE, A.; RUA, M. J. Gender Differences in Students' Experiences, Interests, and Attitudes toward Science and Scientists. **Science Education**, Madison, EUA, v. 84, n. 2, pp. 180-192, 2000.
- LOPRESTO, M. C.; MURRELL, S. R. Using the Star Properties Concept Inventory to Compare Instruction with Lecture Tutorials to Traditional Lectures. **Astronomy Education Review**, Washington, EUA, v. 8, n. 1, pp. 1-5, 2009.
- MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção e validação de um sistema hipermédia para o ensino de física moderna. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, Espanha, v. 6, n. 1, pp. 90-116, 2007.
- MALONEY, D. P. *et al.* Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. **American Journal of Physics**, Melville, EUA, v. 69, n. S1, pp. 12-23, 2001.
- MARTIN, J.; MITCHELL, J.; NEWELL, T. **Development of a concept inventory for fluid mechanics**. *In*: Frontiers In Education Conference, IEEE, 2003.
- MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, Brasil, v. 7, n. especial, pp. 27-45, 1990.
- MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 1, n. 1, pp. 29-41, 2003.
- MCKAGAN, S. B.; WIEMAN, C. E. **Exploring Student Understanding of Energy through the Quantum Mechanics Conceptual Survey**. *In*: Physics Education Research Conference Proceedings, 2006.
- MIDKIFF, K. C.; LITZINGER, T. A.; EVANS, D. L. **Development of Engineering Thermodynamics Concept Inventory Instruments**. *In*: Frontiers in Education Conference, 2001.
- NIEMINEN, P.; SAVINAINEN, A.; VIIRI, J. Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. **Physical Review - Physics Education Research**, Nova York, EUA, v. 6, n. 2, pp. 1-12, 2010.
- NOTAROS, B. M. **Concept inventory assessment instruments for electromagnetics education**. *In*: Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, 2002.
- OGUNFUNMI, T.; RAHMAN, M. **A concept inventory for an Electric Circuits course: Rationale and fundamental topics**. *In*: International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), IEEE, 2010.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Tópicos de Física Contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi**. *In*: VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis, 1998.
- OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Brasil, v. 20, n. 3, pp. 270-288, 1998.
- OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H.; PRADO, S. D.; RICCI, T. F. Fundamentos da física quântica à luz de um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, Espanha, v. 8, pp. 1094-1116, 2009.
- PENA, F. L. A. Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Brasil, v. 28, n. 1, pp. 1-2, 2006.
- PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, Brasil, v. 16, n. 1, pp. 7-34, 1999.
- PRINCE, M.; VIGEANT, M.; NOTTIS, K. Development of the Heat and Energy Concept Inventory: Preliminary Results on the Prevalence and Persistence of Engineering Students' Misconceptions. **Journal of Engineering Education**, Medford, EUA, v. 101, n. 3, pp. 412-438, 2012.

- REBELLO, N. S.; ZOLLMAN, D. A. The effect of distracters on student performance on the force concept inventory. **American Journal of Physics**, Melville, EUA, v. 72, n. 1, pp. 116-125, 2004.
- ROEDEL, R.J. *et al.* **The Wave Concepts Inventory-an assessment tool for courses in electromagnetic engineering.** In: *Frontiers in Education Conference, IEEE*, 1999.
- ROTH, W. Personal Health - Personalized Science: A new driver for science education? **International Journal of Science Education**, Londres, Reino Unido, v. 36, n. 9, pp. 1434-1456, 2014.
- SADAGHIANI, H. R.; POLLOCK, S. J. Quantum mechanics concept assessment: Development and validation study. **Physical Review - Physics Education Research**, Nova York, EUA, v. 11, n. 1, pp. 1-14, 2015.
- SADLER, P. M. *et al.* The Astronomy and Space Science Concept Inventory: Development and Validation of Assessment Instruments Aligned with the K-12 National Science Standards. **Astronomy Education Review**, Washington, EUA, v. 8, n. 1, pp. 1-26, 2009.
- SAVINAINEN, A.; SCOTT, P. Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. **Physics Education**, Bristol, Reino Unido, v. 37, n. 1, pp. 53-58, 2002a.
- SAVINAINEN, A.; SCOTT, P. The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning. **Physics Education**, Bristol, Reino Unido, v. 37, n. 1, pp. 45-52, 2002b.
- SAVINAINEN, A.; VIIRI, J. The Force Concept Inventory as a Measure of Students Conceptual Coherence. **International Journal of Science and Mathematics Education**, Dordrecht, Holanda, v. 6, n. 4, pp. 719-740, 2008.
- SILVA, A. C. **Leitura sobre ressonância magnética nuclear em aulas de física do ensino médio.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Educação, Campinas (SP), 2013.
- SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, Brasil, v. 28, n. 3, pp. 624-652, 2011.
- SILVA, T. H.; SILVA, G. S. F.; MANSOR, M. **O Uso do Inventário dos Conceitos de Força Para Análise das Concepções de Mecânica Newtoniana de Alunos de Licenciatura em Física.** In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.
- SINGH, C. Student understanding of quantum mechanics at the beginning of graduate instruction. **American Journal of Physics**, Melville, EUA, v. 76, n. 3, pp. 277-287, 2008.
- SINGH, C.; ROSENGRANT, D. Multiple-choice test of energy and momentum concepts. **American Journal of Physics**, Melville, EUA, v. 71, n. 6, pp. 607-617, 2003.
- STEIF, P. S.; DANTZLER, J. A. A Statics Concept Inventory: Development and Psychometric Analysis. **Journal of Engineering Education**, Medford, EUA, v. 94, n. 4, pp. 363-371, 2005.
- STEWART, J.; GRIFFIN, H.; STEWART, G. Context sensitivity in the force concept inventory. **Physical Review - Physics Education Research**, Nova York, EUA, v. 3, n. 1, pp. 1-6, 2007.
- TERRAZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, Brasil, v. 9, n. 3, pp. 209-214, 1992.
- THORNTON, R. K.; SOKOLOFF, D. R. Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula. **American Journal of Physics**, Melville, EUA, v. 66, n. 4, pp. 338-351, 1998.
- THORNTON, R. K. *et al.* Comparing the force and motion conceptual evaluation and the force concept inventory. **Physical Review - Physics Education Research**, Nova York, EUA, v. 5, n. 1, pp. 1-8, 2009.
- USCINSKI, J.; LARKIN, T. L. **Probing a Deeper Understanding of Modern Physics Concepts.** In: 41st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Rapid City, 2011.

- VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, Brasil, v. 15, n. 2, pp. 121-135, 1998.
- WELTNER, K. *et al.* Interest of Intermediate-Level Secondary Students in Physics and Technology. **European Journal of Science Education**, Kayseri, Turquia, v. 2, n. 2, pp. 183-189, 1980.
- WUTTIPROM, S. *et al.* Development and Use of a Conceptual Survey in Introductory Quantum Physics. **International Journal of Science Education**, Londres, Reino Unido, v. 31, n. 5, pp. 631-654, 2009.
- YEO, S.; ZADNIK, M. Introductory Thermal Concept Evaluation: Assessing Students' Understanding. **The Physics Teacher**, College Park, EUA, v. 3, pp. 496-504, 2001.
- YERDELEN-DAMAR, S.; ERYILMAZ, A. Questions About Physics: The Case of a Turkish 'Ask a Scientist' Website. **Research in Science Education**, Dordrecht, Holanda, v. 40, n. 2, pp. 223-238, 2010.