

ANÁLISE DO CONTEÚDO DAS EMENTAS DAS DISCIPLINAS RELACIONADAS À MECÂNICA QUÂNTICA

ANALYSIS OF THE CONTENTS OF THE SUBJECTS RELATED TO THE QUANTUM MECHANICS

Rafaelle da Silva Souza¹, Indianara Lima Silva², Elder Sales Teixeira³

¹UFBA/Instituto de Física, rafaellessouza@gmail.com

²UFBA/UEFS/Instituto de Física, indianara.slima@gmail.com

³ UFBA/UEFS /Instituto de Física, eldersate@gmail.com

Resumo

O presente artigo é o resultado de parte do trabalho de tese da autora¹ e busca verificar quais conteúdos são abordados de forma mais enfática nas disciplinas relacionadas a Mecânica Quântica (MQ), constantes nas matrizes curriculares dos cursos de licenciatura em Física das instituições de ensino superior (IES) do Nordeste brasileiro. O estudo tomou como referência as ementas curriculares fornecidas pelas IES e foram caracterizadas pela análise de conteúdo de Bardin. Os resultados mostram uma diversidade terminológica do título e carga horária das disciplinas. Os conteúdos abordados são bastante diversificados e há uma abordagem, predominantemente, matemática. Observa-se a necessidade de um ensino de MQ consistente nos cursos de licenciatura em física, permitindo ao licenciando um contato adequado com um assunto essencial à sua formação. É relevante discutir o currículo e os tópicos de MQ que tem sido ensinado, com vistas a melhorar a formação de professores de Física.

Palavras-chave: Mecânica Quântica, Disciplinas, Formação de Professores.

Abstract

The present article is the result of part of the thesis work of the author¹ and seeks to verify which contents are approached more emphatically in the subjects related to Quantum Mechanics (QM), included in the curricular matrices of the courses in Physics of Higher Education Institutions (HEI) of the Brazilian Northeast. The study took as reference the curricular matrices provided by the HEI, which was characterized by the content analysis of Bardin. The results show a terminological diversity of the title and the time load of the subjects. The contents covered are quite diverse and there is a predominantly mathematical approach. It is observed the need for a consistent QM teaching in undergraduate courses in physics, allowing the licenciando an adequate contact with a subject essential to its formation. It is relevant to discuss the curriculum and the topics of QM that has been taught, with a view to improving the training of physics teachers.

Keywords: Quantum Mechanics, Subjects, teacher training.

Introdução

Para que a atuação docente obtenha os resultados desejáveis, é necessária aos professores a apropriação e execução das novas propostas de Ensino de Física (EF), em detrimento da cômoda prática tradicional, em que predomina a ideia da transmissão/recepção de conteúdos. Na área de Mecânica Quântica (MQ), objeto de análise desta pesquisa, nas últimas décadas, criaram-se diferentes disciplinas que

exploram os conceitos quânticos para contemplar os objetivos dos currículos para formação docente, o que resultou no aumento da credibilidade e o status deste campo do conhecimento. No entanto, permanece a necessidade de ajustamentos no programa das disciplinas de MQ que contemple às dificuldades de interpretações dos fenômenos quânticos dos estudantes e que as tornem mais consistentes e sofisticadas. Logo, se infere que o ensino de MQ deve ser modificado.

Um fato que comprova esse argumento é a ausência ou o pouco tempo dispensado as disciplinas de MQ. Quando essas disciplinas estão presentes, aparecem no final do curso e são apenas uma pequena parte dele. Uma das preocupações desse trabalho é reafirmar a necessidade de um ensino de MQ consistente nos cursos de licenciatura em física, permitindo ao licenciando um contato adequado com um assunto essencial à sua formação inicial.

Essa inquietação norteia o objetivo deste estudo, que é elucidar a realidade acadêmica, analisar e levar a se repensar a área temática de MQ como disciplina do currículo de física e como campo de investigação, sem, no entanto, ousar julgar ou criticar, mas apontar caminhos e oferecer parâmetros para cada curso fazer suas próprias reflexões sobre como está abordando o tema em seus currículos. Busca-se aferir quais os temas são contemplados nas ementas das disciplinas relacionadas à MQ dos cursos de licenciatura em física das IES do Nordeste brasileiro.

Para atingir este objetivo seguiu-se os seguintes passos: (i) verificou-se quais IES públicas possuem licenciatura em física na modalidade presencial; (ii) identificou-se nas matrizes curriculares as disciplinas ligadas à MQ; (iii) examinou-se que tópicos se fazem presentes nos cursos ofertados, comparando as ementas dos cursos oferecidos pelas instituições; (iv) observou-se quais as convergências e discrepâncias são notadas na formação do professor quanto ao conteúdo programático da MQ de acordo com os temas abordados; (v) por fim, é verificado se há uma uniformidade na abordagem dos temas referentes a MQ.

A pesquisa tem como base metodológica a análise documental utilizando-os como fonte de dados. Esta técnica constitui-se importante na pesquisa qualitativa, seja para complementar informações obtidas por outras técnicas, seja para desvelar aspectos novos de um tema ou problema (LUDKE e ANDRÉ, 1986). A análise dos documentos teve como base a análise de conteúdo proposta por Bardin (2011) que serviu também como base para a análise das ementas das disciplinas dos cursos.

A justificativa para a realização desta pesquisa é proporcionar conhecimento em relação ao conteúdo que as universidades abordam na licenciatura em física, o que possibilita traçar um perfil do ensino da área em questão. Além disto, tornam-se verificáveis as semelhanças e diferenças entre as ementas das disciplinas e a estrutura proposta na literatura, o que permite a análise da aderência dos conteúdos MQ em relação a temas mundialmente estudados e consolidados. Nessa perspectiva, as disciplinas relacionadas à MQ imprescindíveis à formação do professor de física, carecem de uma análise do programa das disciplinas com vistas à melhoria do ensino e à harmonização curricular na região e no país.

O curso de física e as disciplinas relacionadas à Mecânica Quântica

Para refletir sobre as questões que se colocam hoje para a licenciatura de física, é importante considerar o contexto referente ao debate sobre as Diretrizes Curriculares para a Formação de Professores (2015); estas definem a necessidade de se promover uma sólida formação teórica e interdisciplinar dos profissionais.

Espera-se formar um profissional que, apoiado em conhecimentos sólidos e atualizados em física, seja capaz de abordar e tratar dos diversos temas, estando sempre preocupado em buscar novas formas do saber e do fazer científico.

O EF no século XXI, segundo Moreira (2017) deve ser centrado no aluno, na aprendizagem significativa e no desenvolvimento de competências científicas; deve fazer uso intensivo de tecnologias de informação e comunicação; e incorporar aspectos epistemológicos, históricos, sociais, culturais. Infelizmente, com o EF que temos, os futuros professores finalizem a licenciatura com dificuldades e defasagem nas competências referentes ao domínio dos conteúdos a serem socializados (saber específico), principalmente os de Física Moderna e Contemporânea (FMC). O problema é que esses conteúdos não estão sendo adquiridos significativamente.

Ainda são poucas as iniciativas que buscam a inserção dos conteúdos da FMC nas salas de aula, seja nível básico ou superior. Se considerarmos o currículo de física específico desse tópico, quando ensinados, são apenas alguns dos conteúdos da área e muitos aspectos nem são vistos. É possível perceber que se predomina na literatura a simples apresentação, superficial, de tópicos de FMC.

Então, considerando a discussão realizada até aqui, reconhecendo que as licenciaturas carecem de ajustamentos e/ou mudanças decidimos por abordar, especificadamente, o programa das disciplinas de MQ, por considera-lo de extrema importância para os futuros professores e que o mesmo deve ser modernizado – ou inserido na formação nos casos de programas que não os contemplem este tópico.

Para esse quadro acima, a literatura tem nos mostrado ainda que o ensino de MQ nos cursos de física tem sido muito formal e de difícil compreensão (GRECA e FREIRE, 2003). Em muitos casos, se tem um forte apelo à chamada “velha Mecânica Quântica” e não se tem um estudo mais profundo da quântica. Quando há, em geral, são rápidas disciplinas de introdução à MQ. Pouquíssimos currículos incluem disciplinas de MQ como obrigatória. É comum a oferta de disciplinas optativas que tratam, em seu currículo, dos aspectos mais gerais da MQ, porém, não há garantias que os estudantes irão cursá-las; pelo simples fato que os mesmos têm a liberdade de escolher, por exemplo, disciplinas que darão ênfase à prática de sala de aula e suas metodologias.

Essas questões distanciam o ensino de MQ na licenciatura de física das competências e habilidades sugeridas pelas Diretrizes Curriculares Nacionais, essenciais à formação de professores. Nessas circunstâncias, acreditamos que é preciso investir esforços na compreensão das bases conceituais decorrentes da MQ; e buscar superar a estagnação que se tem observado nos cursos de física - lacunas e inadequação quanto ao ensino dos fundamentos da MQ. É relevante discutir o currículo e os tópicos de MQ que tem sido ensinado porque, talvez, se incentive a busca por superar obstáculos à sua inserção na formação docente.

Metodologia

Esta pesquisa se classifica como exploratória, que, segundo Gil (2008), tem como objetivo principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, visando fornecer subsídios para outros estudos mais aprofundados. Como procedimento de investigação, adotou-se o método comparativo, que tem por objetivo ressaltar as diferenças e similaridades entre os fatos estudados. Quanto à abordagem do problema de pesquisa, este estudo se caracteriza como qualitativo.

Tomamos como referência a análise das ementas das disciplinas relacionadas ao ensino de MQ, constantes nas matrizes curriculares, ministradas nos cursos de graduação de licenciatura em física das IES públicas Federais e Estaduais do Nordeste brasileiro visando-se delinear as tendências teóricas aplicadas à disciplina nessas instituições. O Nordeste foi escolhido devido à extensão territorial do Brasil e porque é possível observar a presença da oferta de cursos por toda a região, o que garante uma coleta de dados satisfatória. Incluímos disciplinas de Física Moderna (FM) por também apresentar tópicos de MQ, isto não altera os resultados desta pesquisa, pois a principal diferença entre elas repousa na priorização do processo matemático e simplificação da compreensão conceitual.

Os dados foram obtidos através da busca nos sites institucionais desses cursos. Estes foram organizados em forma de quadros, possibilitando a leitura das informações acessadas e facilitando a visualização. Verificamos que 32 instituições ofertam o curso de licenciatura em física no Nordeste. Em 21 sites constavam as informações, totalizando 50 ementas relativas a tópicos de MQ. Utilizamos o critério semântico para categorização, ou seja, criamos as unidades de registro com base no significado e na interpretação das palavras ou frase que compunham as ementas.

Resultados

Foi observado que não há uniformidade quanto à nomenclatura das disciplinas (Quadro 1), bem como nos tópicos abordados. Há uma forte ramificação das disciplinas com tópicos de MQ, algumas utilizam em sua nomenclatura termos como “*Introdução*”, “*Princípios*”, “*Fundamentos*” e/ou “*Conceitos*”, seja da FM ou MQ.

Quadro 1: Quantificação das disciplinas oferecidas

Disciplinas ofertadas	Código	Nº de ementa	%
Física Moderna I	A	12	24%
Mecânica Quântica I	B	12	24%
Mecânica Quântica II	C	5	10%
Física Moderna II	D	5	10%
Introdução à Mecânica Quântica	E	4	8%
Princípios de Física Moderna	F	2	4%
Estrutura da matéria	G	2	4%
Introdução à Física Moderna	H	1	2%
Fundamentos de Física Moderna	I	1	2%
Conceitos Física Moderna I	J	1	2%
Conceitos Física Moderna II	L	1	2%
Física do átomo	M	1	2%
Fundamentos: Ótica e Física Moderna	N	1	2%
Física Geral e Experimental IV	O	1	2%
Física Moderna III	P	1	2%
TOTAL		50	100%

Fonte: Dados da pesquisa

Predominam-se cursos de Física Moderna I e Mecânica Quântica I com 12 (24%) ocorrências, cada um; e não tão expressiva de Física Moderna II e Mecânica Quântica II com 5 (10%) de ocorrências, cada um. Os tópicos diferem, tanto na ordem como na forma em que são abordados em sala de aula. Há instituições onde os conteúdos pertinentes à MQ são abordados em uma única disciplina e, em outras, estão pulverizados em disciplinas optativas, como Física Moderna I, II e III.

A pesquisa revelou que essas disciplinas são de natureza obrigatória e totalizam 38 (76%) das ocorrências. Verifica-se, assim, que já se observa uma

mudança quanto à garantia das disciplinas na formação. Observou-se ainda que não há consenso quanto a carga horária das disciplinas, variando de 34h até 120h/aula.

As análises das ementas das disciplinas foram realizadas com o intuito de identificar os tópicos em que a matéria é subdividida e os principais tópicos abordados pelas IES. Utilizamos os códigos postos no Quadro 1 para fazer referência as disciplinas. Traremos para exemplificação das divergências a análise das disciplinas com a mesma nomenclatura e os tópicos de MQ mais recorrentes.

Disciplinas com a mesma nomenclatura

A seguir são analisadas disciplinas que possuem a mesma nomenclatura. Foram selecionadas a disciplina de “Introdução à Mecânica Quântica” que aparece em 4 (8%) ementas e a disciplina “Princípios de Física Moderna” que aparece em 2 (4%) ementas. Foram analisadas se as ementas são iguais ou divergiam e se o conteúdo aplicado é correspondente ou se há diferença no conteúdo.

a) Introdução à Mecânica Quântica

A ementa da UFBA com uma carga horária de 34 horas:

Os princípios básicos e os postulados iniciais da Mecânica Quântica são estabelecidos. Em seguida constrói-se o formalismo geral a partir dos princípios e postulados iniciais e verifica-se que as formulações ondulatórias e matricial são consequências do formalismo geral. Aplica-se o formalismo à solução de problemas específicos.

A ementa do IFCE com uma carga horária de 80 horas:

Estudo dos postulados da mecânica quântica, potenciais em uma dimensão, momento angular e o átomo de hidrogênio.

A ementa do IFPI com uma carga horária de 60 horas:

Elementos de mecânica quântica (Dualidade corpuscular – ondulatória das partículas, movimento de uma partícula livre, partícula em um poço de potencial, oscilador harmônico linear, relações de incerteza de Heisenberg, efeito túnel) Partículas elementares (noções sumárias de partículas elementares, classificação das partículas elementares e das interações entre as mesmas, princípios de conservação na Física das partículas, antipartículas).

A ementa da UFS com uma carga horária de 60 horas:

Fundamentos da física quântica: radiação do corpo negro, efeito fotoelétrico e Compton, postulado de De Broglie, estados estacionários e princípios da incerteza de Heisenberg. Mecânica ondulatória de Schrödinger: sistemas unidimensionais, átomos hidrogenóides, momento angular, spin e princípio de exclusão de Pauli.

Essas ementas apresentam diferenças entre si. A ementa da UFBA descreve os conteúdos priorizando um processo, traz o que os estudantes desenvolverão em sala de aula; a ementa do IFCE é muito reduzida; o IFPI aponta, prioritariamente, os conteúdos que serão aplicados aos estudantes da disciplina, é mais explicativa; já a ementa da UFS é mais sucinta, mais geral. Pelo conteúdo descrito a disciplina de Introdução à Mecânica Quântica do IFCE tem menos conteúdo a ser aplicado, porém sua carga horária é maior. O contrário da disciplina da UFBA, que descreve mais, porém com menor tempo de carga horária. É curioso, porque as ementas são de certa forma semelhantes, apesar da UFBA ser mais detalhada. Aqui temos uma diferença de carga horária interessante, enquanto a UFBA oferece a disciplina com 34 horas o IFCE dispõe de 80 horas para trabalhar quase o mesmo conteúdo, garantindo a princípio aos estudantes mais tempo de contato com o assunto, e teoricamente desenvolverão melhor as habilidades previstas na ementa. As ementas do IFPI e da UFS apesar de apresentar a mesma carga horária são bem diferentes

entre si, dando distintos focos para a disciplina. No entanto, ambas trazem detalhes do que os estudantes da disciplina irão aprender.

b) Princípios de Física Moderna

A ementa da UFC com uma carga horária de 96 horas:

Relatividade Especial. Propriedades Corpusculares das Ondas. Propriedades Ondulatórias das Partículas. O Átomo. Mecânica Quântica. O Núcleo. Reações Nucleares. Radioatividade.

A ementa da IFCE com uma carga horária de 120 horas:

Estudo da relatividade restrita, radiação térmica, velha teoria quântica, núcleo atômico, teoria de Bohr, partículas e ondas, equação de Schrödinger e soluções da equação de Schrödinger para sistemas simples.

A ementa da UFC é objetiva e menos explicativa, porém caracteriza o que será apresentado, enquanto a ementa do IFCE é sequenciada e clara. Ambas deixam explícito o que será ensinado. No IFCE a disciplina tem um acréscimo de 24h na carga horária em relação a UFC e apresenta o conteúdo mais específico.

Em geral, as ementas são apresentadas de forma curta e pouco explicativas em alguns casos, em outros é mais extensa trazendo mais conteúdos (ou detalhando mais os conteúdos). Descrevem os conteúdos que serão apresentados aos estudantes, sendo algumas mais sucinta que outras. Há muitas discrepâncias entre as disciplinas. O que nos faz querer compreender, quais são os tópicos frequentemente discutidos nos cursos relacionados à MQ, o que justifica a frequência destes tópicos e qual a sua importância para a formação inicial de professores de física. Será discutido esses aspectos na seção seguinte.

Principais tópicos da MQ abordados nas disciplinas

Os tópicos da MQ abordados nas disciplinas são bastante diversos. Alguns com maior frequência, por exemplo: *Equação de Schrödinger dependente e independente do tempo, momento angular, átomo de hidrogênio, radiação de corpo negro, potenciais unidimensionais independentes do tempo, átomo de Bohr, oscilador harmônico, princípio da incerteza, efeito fotoelétrico e efeito Compton, fundamentos da física quântica*. Outros tendem a diminuir sua representatividade no universo de temas listados, como os tópicos: *dualidade onda-partícula, spin do elétron, espaço de Hilbert, efeito Zeeman, efeito Stark, experimento EPR, desigualdade de Bell*. Fica evidente a divergência de abordagens adotadas nas IES.

No curso de FM (representado pela letra A), bem como os de ementa aproximada (F, G, H, I, J, M, N, O) os assuntos tratados partem de uma abordagem clássica, seguida de uma exposição das falhas da física clássica. Em seguida, inicia-se a introdução da chamada “antiga teoria quântica”. Há uma preocupação com a compreensão primária da FQ. Semelhantemente, no curso de MQ (representado pela letra B) e de ementa aproximada e/ou avançada (C, D, E, L, P) são estudados os conceitos partindo da visão da física clássica, porém, chega-se rapidamente ao postulado da MQ e algumas implicações. O tema é desenvolvido de forma que o estudante para o compreender necessitará antes fazer um estudo mais detalhado, que possibilite ao mesmo uma compreensão efetiva do assunto, do contrário o estudante não conseguirá fazer as ligações necessárias para o estudo da MQ.

Confrontando os tópicos abordados nos cursos de FM e MQ, esses possuem estilos e perspectivas diferentes, exemplos e/ou problemas adicionais. Como a MQ não é intuitiva, um melhor entendimento pode ser alcançado se certos

aspectos forem examinados de diferentes pontos de vista, mas há forte presença do formalismo matemático refinado. Segundo Rocha et. al (2010), vários cursos de MQ trabalham mais com a resolução de problemas envolvendo equações diferenciais do que com aspectos relacionados aos conceitos fundamentais. Em geral os conteúdos são apresentados de forma dedutiva, deixa-se de lado seu desenvolvimento histórico/contextual. Ademais, não há aspectos generalizáveis quanto ao ministrado nas disciplinas, ainda que apresentem a mesma nomenclatura, carga horária e público alvo e ser de uma mesma região. É preciso refletir acerca dessas questões.

Processo de formação de professores e os usuais cursos de MQ

A MQ ocupa uma posição singular dentro da física. É um desafio encontrar uma abordagem equilibrada que se introduza os conceitos quânticos mais básicos, as questões de interpretação e de formalismo matemático. Para superá-lo, o conteúdo programático da MQ vem sendo revisado e atualizado na tentativa de se acompanhar as inovações tecnológicas, gerenciais e comportamentais. As inadequações no ensino convergem fortemente sob os aspectos instrumentais, em detrimento da discussão e apropriação dos conceitos da própria teoria.

Contudo, parece não haver consenso quanto ao enfoque a ser dado no ensino de MQ. Entre os tópicos da MQ apresentados, as implicações resultantes de conceitos como os de superposição de estados, princípio de incerteza, dualidade onda-partícula, distribuição de probabilidades e não localidade ou o problema da medida continuam provocando acalorados debates. Se infere que abordá-los de forma a promover a compreensão conceitual torna-se uma possibilidade para que os estudantes possam familiarizar-se com a percepção quântica dos fenômenos.

Tal iniciativa pode incentivar a discussão de aspectos históricos, contextuais e fenomenológicos que apelem para as características quânticas fundamentais. Propõe-se uma abordagem que enfatize a compreensão aprofundada dos conceitos tendo o emprego do formalismo matemático como mera ferramenta matemática em seus fundamentos e pressupostos mais básicos. Talvez, o desenvolvimento de uma unidade conceitual sólida e consistente nesses aspectos, promova mudanças nas concepções dos estudantes e rompa com a abordagem dos cursos tradicionais.

Esse caráter para o ensino da MQ torna-se essencial ao projetar as ações do licenciando na prática docente futura e ao objetivar uma capacitação adequada. O professor ao lecionar Física no ensino médio precisará seguir os PCNEM (BRASIL, 1999) e os PCN+ (BRASIL, 2002) que norteiam o ensino nacional, portanto, precisará abordar a FMC adequada a linguagem dos estudantes, que prioriza leis gerais e conceitos fundamentais exigindo pouca matematização.

Considerações Finais

Os resultados evidenciaram que as IES garantem, em sua maioria, a oferta de disciplinas com tópicos de MQ. Existe a preocupação de incluir MQ no currículo de formação de professores de física. Porém, quando estendemos nossa análise ao conteúdo ministrado, verificamos que há divergência no foco atribuído e no tempo de curso. Os dados revelam que, nas instituições investigadas, não há uniformidade em relação aos vários aspectos acadêmicos da disciplina, tais como, denominação, obrigatoriedade e carga horária. Quanto aos conteúdos presentes nos cursos e sua representatividade nas ementas fica evidente que as abordagens sofrem variações de IES para IES, ainda que de um mesmo estado.

É indispensável discutir quanto aos conteúdos fundamentais da MQ (tópicos principais) que devem ser contemplados no currículo, haja vista as divergências dos atuais cursos. Não buscamos definir um perfil, mas afirmamos a necessidade deste objetivando uma futura homogeneização. Contudo, inferimos que o ensino de MQ deve ir para além do formalismo matemático. Deve se fazer presente a dimensão histórico-filosófica, aspectos conceituais, conceituação dos experimentos de pensamentos, questões epistemológicas e ontológicas; projetando uma formação que permita ao estudante o entendimento da consolidação da teoria quântica, as implicações e os novos rumos desta. As publicações nessa área são incipientes.

Ao refletir sobre currículo remetemos, também, ao material didático adotado. Este trabalho não analisa a bibliografia dos cursos, mas a título de informação há muita variação quanto a estes. A bibliografia varia entre os livros ditos “clássicos” - Griffiths, Eisberg e Resnick; “avançados” - Sakurai; Cohen-Tannoudji, Diu e Laloe; e aqueles de Física moderna (com capítulos sobre a Física quântica) - Tipler. Citados apenas exemplos. Ao observar isto, reforçamos nosso argumento de que é preciso mais investigações quanto ao ensino de MQ, e nesse ponto, é também preciso repensar sobre o material didático que caminhe para as dimensões supracitadas.

Por fim, embora o objetivo da pesquisa seja apenas conhecer a realidade da disciplina a fim de mapear a área temática de MQ, convém salientar que de maneira geral as disciplinas apresentam omissões tanto no estilo do formato quanto na apresentação do conteúdo, tornando difícil, em alguns casos, a distinção entre o conteúdo propriamente dito e as ementas apresentadas isoladamente. Obviamente, não se deseja uma rígida padronização, pois cada uma segue as regras de suas respectivas universidades, mas se esperava, no mínimo, que todos contemplassem os conteúdos fundamentais da MQ. Esses aspectos não são conclusivos devem ser discutidos a fim de promover uma formação sólida e consistente dos tópicos principais da MQ. cremos ter dado a nossa contribuição ao debate sobre a melhoria do ensino de MQ na formação de professores.

Referências

- BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011, 229 p.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN + Ensino Médio - Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, Códigos e suas Tecnologias. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.
- BRASIL (2015). Parecer CNE/CP 2/2015, de 9 de junho de 2015. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial e Continuada dos Profissionais do Magistério da Educação Básica. Brasília: Ministério da Educação.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GRECA, I. M; FREIRE, O. Jr. Does an emphasis on the concept of quantum states enhance student's understanding of Quantum Mechanics? Science & Education, v.12, p. 541-557, 2003.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M.E.D.A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU.1986.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. Revista do Professor de Física. Brasília, vol. 1, n. 1, 2017.
- ROCHA, C. R.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Introdução à Mecânica Quântica: uma proposta de minicurso para o ensino de conceitos e postulados fundamentais. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 3, n. 1, 2010.