



## ELABORAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE ENSINO- APRENDIZAGEM COM TÓPICOS DE MECÂNICA QUÂNTICA PARA CURSOS DE ENGENHARIA

**Alexandre Guimarães Rodrigues** – [alexgr@ufpa.br](mailto:alexgr@ufpa.br)

Docente do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará

Rua Augusto Corrêa, 1, Guamá

CEP 66075-110– Belém - PA

**Maurício Pietrocola** - [mpietro@usp.br](mailto:mpietro@usp.br)

Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

Av. Universidade, 308

CEP 05508-900, São Paulo - SP

**José Roberto Castilho Piqueira** – [piqueira@lac.usp.br](mailto:piqueira@lac.usp.br)

Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle da Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo.

Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, no. 158

CEP 05508-900 – São Paulo – SP

**Resumo:** São muitas e profundas as interfaces das engenharias com as ciências básicas, em especial com a física. Em relação à física moderna são inúmeros os exemplos de aplicações desse ramo da física nas mais diversas áreas de atuação do engenheiro. A necessidade de uma ciência vigorosa, moderna e de bases sólidas no campo das Engenharias para haver um desenvolvimento tecnológico, industrial e de inovação tecnológica no país é imperiosa. No entanto, estudos demonstram que tópicos de física moderna e contemporânea ganham muito pouco espaço na formação de graduação do profissional de engenharia. No contexto de pesquisa de inovação didática em nível de conteúdo e de metodologias de ensino apresentamos neste trabalho as características de uma abordagem metodológica de pesquisa em ensino conhecida como *Teaching Learning Sequences* (TLS), bem como expomos as etapas iniciais de delineamento e elaboração de uma sequência de ensino-aprendizagem contendo tópicos de física quântica voltada para cursos de graduação em engenharia. Mais especificamente, a sequência abordará tópicos necessários para o entendimento da interface computação clássica x computação quântica. A sequência possui atributos de interesse, pois apresenta o benefício de abordar aspectos primordiais da mecânica quântica de modo mais palpável, relacionando-os com tecnologias já em uso e de interesse crescente.

**Palavras-chave:** *Ensino de Física, Ensino de Engenharia; Sequências de Ensino aprendizagem (TLS), Tópicos de Mecânica Quântica.*

### 1 – JUSTIFICATIVA

Muitas vezes não nos damos conta que boa parte do cerne das chamadas pesquisas

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO  
PROFESSOR E O  
DESAFIO DE EDUCAR**



aplicadas decorre do embasamento nas ciências básicas. Levando em conta que o desenvolvimento da eletrônica contemporânea dependeu da compreensão das propriedades de materiais semicondutores (objeto de estudo da Física do Estado Sólido), e considerando o transistor um advento legítimo da teoria quântica, sendo que considerações semelhantes podem ser feitas em relação ao diodo emissor de luz (LED), ao display de cristal líquido (LCD), a fibra ótica e ao LASER, não parece ser exagerada a estimativa do prêmio Nobel de Física de 1988, Leon Lederman, o qual avalia que 1/3 do PIB norte-americano em 2001 era proveniente de tecnologias baseadas na física quântica (SBPC, 2005). Tendo em vista os desdobramentos cada vez mais espetaculares de novas áreas da tecnologia que em grande parte também tiveram origem em pesquisas teóricas e em laboratórios da área da física quântica, tais como a área de nanomateriais e a de criptografia quântica é correto supor que essa parcela tenha aumentado<sup>1</sup>.

Por conta disso, a necessidade de uma ciência vigorosa, moderna e de bases sólidas no campo das Engenharias para haver um desenvolvimento tecnológico, industrial e de inovação tecnológica no país já foi diagnosticado pelo Grupo de Trabalho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da SBPC (SBPC, 2005) e como bem coloca Perfol e Junior (2006)

(...) engenheiros competentes, atualizados e com amplo treinamento em pesquisa são a condição essencial do avanço da pesquisa industrial e da criação de novos produtos, de novos materiais e de serviços nas áreas tecnológicas. Para tanto, o ensino de graduação em Engenharia deve ser modernizado e atividades de pesquisa interdisciplinares (com químicos, físicos, biólogos, matemáticos, etc.) devem ser induzidas e apoiadas. A necessidade e atualidade dessas propostas são confirmadas pelo sucesso de países emergentes em Ciência e Tecnologia, como a Coréia do Sul, onde a quantidade e qualidade de engenheiros presentes no processo de desenvolvimento e produção industrial são muito superiores à situação de nosso país. (PERFOLL & JUNIOR, 2006, p. 11.65)

Alguns autores no Brasil têm colocado ênfase na necessidade de reformulação do ensino de Física, sobretudo nas Engenharias (SZAJNBERG, ZAKON, 2001; NASSAR et al, 2008a; NASSAR et al, 2008b; ALMEIDA et al, 2009).

No entanto, estudos demonstram que tópicos de física moderna e contemporânea ganham muito pouco espaço na formação de graduação do profissional de engenharia. Em um estudo de ementas e análises curriculares de cursos de graduação de engenharia Perfol e Junior (2006) comprovaram que muitos cursos não trazem qualquer menção a conteúdos referentes a esse ramo da física. Ainda em relação a esse trabalho os autores constataram que nas poucas disciplinas que caracterizam a presença de FMC em cursos de engenharia a carga horária é baixa e, em geral com conceitos e informações insuficientes para garantir aos acadêmicos conhecimentos necessários para participar do desenvolvimento de tecnologias decorrentes da física produzida no século XX.

Embora seja imprescindível estar atento para uma reforma dos cursos de graduação em nível curricular focado no aspecto de conteúdos e de disciplinas é necessário apostar também em pesquisas que promovam ganho curricular em nível metodológico e com perspectivas interdisciplinares. É desejável, portanto, que a pesquisa em ensino fomente interações com o interesse legítimo pela ciência em si e com as interfaces da física com as engenharias.

---

<sup>1</sup> A lista é enorme, mas não deveríamos deixar de mencionar a parte da medicina que lida com diagnósticos médicos baseados em imagens produzidas a partir de técnicas de ressonância magnética nuclear. Citamos também o impacto da física nuclear no trato de doenças graves, incluindo aí vários tipos de câncer.



Em relação à teoria quântica é inegável o destacado papel dentro da Física, seja pelo fato de descrever propriedades peculiares da matéria em nível atômico e subatômico, seja fato de estar na base das recentes revoluções tecnológicas das áreas de ciências dos materiais e de comunicações, apenas para citar alguns exemplos.

Entretanto, o ensino da física quântica enfrenta além de dificuldades técnicas, tal como o domínio de um ferramental matemático mais sofisticado e a ausência de uma fenomenologia cotidiana e/ou baseada em senso comum, também obstáculos de natureza filosófica (GRECA; FREIRE JR, 2012). Muito embora os artigos de revisão sobre estudos relativos ao ensino de mecânica quântica (MCDERMOTT; REDISH, 1999; GRECA; MOREIRA, 2001; GRECA; FREIRE JR, 2012) apontem uma quantidade significativa de pesquisas voltadas para o contexto de ensino médio, quando se leva em conta referências voltadas para o nível superior o número de publicações torna-se bem mais escasso.

Na revisão de literatura de pesquisas de ensino de física dirigidas para cursos introdutórios para as engenharias destacamos os trabalhos realizados pelo grupo de pesquisa de ensino de Física da Universidade de Colorado (EUA)<sup>2</sup> o qual produziu proposta de reforma curricular de cursos de física moderna para estudantes veteranos de engenharia a partir dos resultados de pesquisa (McKAGAN et al, 2007). Os cursos propostos por esse grupo estão calcados na construção de modelos, em aplicações da quântica no mundo real e em uma variedade de técnicas de engajamento interativo, tais como: sessões colaborativas de resolução de exercícios e questões e simulações computacionais interativas discutidas em grupo.

No Brasil, experiências de elaboração de unidades didáticas introdutórias com conteúdos de mecânica quântica para cursos de engenharia foram produzidas pelo grupo de pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Em (GRECA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2001) os autores trabalharam uma proposta de unidade didática a partir de uma abordagem fenomenológica-conceitual com intuito de produção de modelos mentais adequados para a percepção quântica dos fenômenos microscópicos por parte dos alunos. Os resultados da pesquisa indicaram que a abordagem foi adequada para a formação de modelos mentais com núcleos consistentes com a fenomenologia quântica. Em (GRECA; HERSCOVITZ, 2005), também trabalhando com tópicos de mecânica quântica para disciplinas de física básica para cursos de engenharia, os autores destacam o desafio de discutir conceitos essenciais e qualitativos de mecânica quântica em apenas um mês (24 horas-aula) e com poucas ferramentas prévias sobre espaços mentais. Nesse trabalho também destacaram a importância da discussão em sala de aula em pequenos grupos de alunos com o auxílio dos professores com base na teoria de aprendizagem de Vygostki no contexto de interação social. Os autores reportam nesse mesmo trabalho que o conceito de superposição quântica é de difícil compreensão para uma parcela considerável de alunos que participaram da pesquisa.

## **2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

Para lançar o desafio de “criar” uma física quântica acessível, atual, significativa e de interesse para outros profissionais da área de exatas, fazem-se necessárias pesquisas na área de ensino que tomem por objeto de investigação conhecimento oriundos de áreas de interface, tais como a física e as engenharias. Por intermédio de pesquisas com essas características surgem perspectivas de avançar em direção às metodologias e estratégias didáticas eficazes no

---

<sup>2</sup> Ver artigos, teses, dissertações e outros materiais de pesquisa, ensino e divulgação do grupo em: <http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/index.htm>.



sentido de incorporar à bagagem acadêmica do estudante os aspectos conceituais e operacionais contemporâneos da Física Moderna. Deste modo contribuem para uma formação científica sólida em ciência básica, potencializando parcerias e formação de grupos multidisciplinares em problemas de interface Física-Engenharias.

A sequência de ensino-aprendizagem ora exposta neste trabalho possui origem em um referencial teórico de pesquisas educacionais de inovação curricular que desenvolvem estudos de curta e média duração ao invés de pesquisas educacionais de longa duração (PIETROCOLA, 2010). Dentro desta perspectiva as inovações curriculares são testadas a partir de intervenções educacionais focadas em tópicos específicos de um determinado conteúdo, os quais são concebidos, selecionados, planejados, aplicados e avaliados segundo um determinado referencial teórico visando uma relação efetiva de ensino-aprendizagem em relação a esses tópicos. Esse tipo de pesquisa segue critérios de uma pesquisa do tipo intervenção com critérios bem definidos de avaliação sendo, portanto, uma pesquisa aplicada com características de estudo experimental, pois o “planejador” da estrutura didática descreve as consequências das intervenções, procura identificar mecanismos associações ou interações e busca validação do modelo (PIETROCOLA, 2010).

No contexto de ensino de ciências convencionou-se chamar essa proposta teórico-metodológica, que envolve uma sequência didática de atividades a serem testadas, de sequência de ensino-aprendizagem. Na língua inglesa é tratada pela sigla TLS que significa *Teaching and Learning Sequences*. A sequência didática, produto das pesquisas aplicadas sob a perspectiva TLS (LIJNSE; KLAASSEN, 2004) é mutável, pois uma mesma sequência didática pode ser continuamente aplicada e avaliada em um mesmo contexto escolar ou em situações distintas (grupos, locais ou épocas distintas).

Esse perfil de pesquisa possui embasamento mais amplo na abordagem metodológica que conhecida na língua inglesa por *Design-Based Research* (DBR) (COLLECTIVE, 2003). Em 2003 um pequeno grupo de pesquisadores de diversas universidades e institutos de pesquisa reuniu-se em torno dessa linha metodológica com a finalidade de *reconhecer a necessidade de melhorar a natureza, métodos e resultados da design-based research*.

Segundo esses autores (COLLECTIVE, 2003) em acordo com Pietrocola (2010)

*“... Métodos da Design-based research pode compor uma metodologia coerente que liga pesquisas teóricas com a prática educacional. Vislumbrando ao mesmo tempo o design de uma intervenção e suas especificações como objetos de pesquisa pode produzir explicações robustas de práticas inovadoras e prover princípios que podem ser usados por outros aplicarem em novos conjuntos. Pesquisas DBR, fundamentando-se ela-mesmas, em necessidades e em restrições da prática local podem prover uma lente para o entendimento de como demandas teóricas sobre o ensino e a aprendizagem podem ser transformadas em aprendizagem efetiva em conjuntos educacionais.”*  
(COLLECTIVE, 2003 apud PIETROCOLA, 2010, p.35)

Do exposto acima se pode perceber que as investigações na área de ensino segundo a perspectiva DBR-TLS vão muito além da elaboração de um “produto” para um contexto particular. Ao invés disso, pretende-se desenvolver modelos de inovações de sucesso testados em ambientes reais de aprendizagem, ou seja, nas salas de aula. Outra característica interessante dessa abordagem metodológica é que a pesquisa acompanha simultaneamente as ações de intervenção em todas as etapas do processo, desde a escolha do referencial teórico a



ser utilizado na formulação da TLS até utilização de teorias que permitam entender e/ou generalizar os resultados obtidos (critérios de validade, verificação de hipóteses).

Em um importante artigo de revisão Meheut & Psillos (2004) fornecem um panorama do desenvolvimento e das tendências das pesquisas de abordagem TLS, discutem estudos empíricos, propostas e ferramentas teóricas, bem como avaliam diversos enfoques de pesquisa usados durante o desenvolvimento de uma TLS. Nesse trabalho os autores discutem também procedimentos de validação de uma sequência didática, tais como aplicações de pré-teste e pós-teste (característica de procedimentos de validação interna) e comparações de turmas que tiveram um assunto tratado através de uma TLS com aquelas que não tiveram uso desse recurso (procedimento de validação externa). Outra abordagem importante no que diz respeito a validação de uma sequência didática são os estudos que procuram acompanhar os “caminhos cognitivos” que os alunos utilizam em cada etapa do processo de ensino-aprendizagem (MEHEUT, PSILLOS, 2004). Usualmente são utilizados nessas abordagens recursos e tratamentos de dados típicos de pesquisas qualitativas, tais como observações registradas em diários de bordo, redações, entrevistas, etc. (LÜDKE; ANDRÉ, 1986)

Sintetizamos a seguir aspectos das abordagens TLS que consideramos interessantes para o desenvolvimento dos nossos estudos:

- A literatura mostra que há TLS de diversas tendências e matizes. Pelo espectro de possibilidades e de interesses abarcados por essa abordagem, podemos dizer que, portanto, a TLS é uma estratégia que aceita naturalmente uma ampla diversidade de abordagens didático-metodológicas. Há, em tese, uma maior facilidade para que pesquisadores de outras áreas ou de outras correntes da área de ensino se adaptem ou se sintam mais a vontade com essa linha de pesquisa.

- A abordagem DBR-TLS é equilibrada no que diz respeito ao binômio teoria-prática. Ao mesmo tempo em que se fundamenta em sólido arcabouço teórico analisa a pertinência e a aplicabilidade do modelo proposto no *locus* real a que se destina.

- É fato que mudar a prática docente é algo difícil para a grande maioria dos professores. Embora haja um amplo leque de possibilidades e de recursos metodológicos na implantação de uma sequência didática, a metodologia traz em si uma preocupação inerente com a estruturação do planejamento, da implementação e com a verificação dos processos de avaliação da mesma. Essa característica é muito útil para orientar os primeiros passos no *como* fazer as mudanças pedagógicas almejadas.

- Uma investigação gradativa e aprofundada na área de ensino baseada na linha DBR-TLS oferece um caminho consistente para avaliar possibilidades de inovação curricular em nível micro (novos tópicos ou abordagens em nível de disciplina) até reformulações curriculares em nível macro (estabelecer novas competências e habilidades e/ou novas estruturas curriculares em nível de projeto pedagógico)<sup>3</sup>.

### 3 – DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O delineamento inicial da proposta de sequência didática aponta para a abordagem de tópicos de Física Moderna relacionados à interface Computação Clássica x Computação Quântica.

---

<sup>3</sup> Esclarecemos que a metodologia DBR-TLS prega estudos em pequena escala, mas as implicações curriculares podem ser de amplo espectro.



Esse ramo da mecânica quântica estabelece uma nítida interface de problemas com potencial de interesse para as ciências (em especial para a Física) bem como para o mundo das engenharias, uma vez que a manipulação de sistemas quânticos em nível cada vez mais preciso possibilitou maneiras de se utilizar as propriedades de tais sistemas físicos para processar informação, computação e comunicação. A utilização de propriedades peculiares de sistemas quânticos em nível atômico e subatômico, tais como a superposição quântica e o emaranhamento quântico abriram um novo paradigma para a área de computação. Computadores cujo processamento baseiam-se nas leis da mecânica quântica (por esse motivo chamados de computadores quânticos) trazem potencialidade para realizar tarefas computacionais de maneira mais rápida que o mais poderosos computadores clássicos atuais.

Destacamos a seguir possíveis tópicos para se abordar em uma sequência didática neste tema<sup>4</sup>: Arquitetura básica de um computador moderno; Início da Computação Quântica; Descrição do mundo pela Física Quântica; Do experimento de Young à Mecânica Ondulatória; A dupla fenda; Incerteza de Heisenberg e o princípio da complementaridade; Amplitude de probabilidade; Fundamentos quânticos para a Computação Quântica; Sistemas, estados quânticos e graus de liberdade; Princípio da Superposição Quântica; Fundamentos da Computação Quântica; Superposição Quântica e q-bits; Paralelismo quântico; Como preparar um estado em superposição?; Fase Relativa e Fase Global; Portas Lógicas ou chaves lógicas; Computação reversível; Algumas Portas lógicas e seus “por quês”; Portas de um qubit; Produto tensorial; Portas de dois qubits; Circuitos quânticos; Circuitos quânticos e algoritmos quânticos; Emaranhamento quântico; O Paradoxo EPR; Variáveis ocultas: De Bell a Aspect; Estados Emaranhados; Produzindo estados de Bell em um Computador Quântico; Decomposição de Schmidt; Sistemas Bipartite (ou Sistemas de duas partes); Dois exemplos de uso do Emaranhamento: Teleporte quântico e Codificação Superdensa.

Uma sequência de ensino-aprendizagem focada nesses temas possui atributos de interesse:

- ◆ É uma área de pesquisa multidisciplinar (físicos, matemáticos, engenheiros e tecnólogos da computação) que envolve vários institutos de pesquisa e universidades no Brasil e no exterior. É, portanto, uma área de real interface física-engenharias. No Brasil esse tema está contido nas áreas de atuação de um grande Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Informação Quântica (INCT-IQ).

- ◆ Trabalha com aspectos primordiais da mecânica quântica, mas que produz tecnologias já em uso e de interesse crescente como a criptografia quântica.

- ◆ Trabalha aspectos fundamentais da Quântica em nível conceitual-epistemológico.

- ◆ Abre possibilidade de avaliar material já parcialmente desenvolvido (Caderno Temático de Computação e Informação Quântica)

- ◆ Efetiva parceria com pesquisadores que já trabalham nessa mesma linha com o público-alvo na engenharia.

Cursos de Engenharia com maior interesse na TLS: Elétrica, Computação e de Telecomunicações.

#### **4 – ESTÁGIO ATUAL DA PESQUISA**

Uma proposta para se trabalhar Física Moderna em nível universitário de maneira significativa para a formação dos alunos (e por consequência mais proveitosa para a

---

<sup>4</sup> Esses tópicos estão presentes em um caderno temático em Computação/Informação Quântica ainda em fase final de ajustes.



instituição) não será fruto de uma concepção individual e nem da adoção de um ou mais livros textos. Nesse sentido é parte importante da essência dessa TLS o diálogo com outros profissionais que atuam nas áreas pesquisa e/ou ensino de física moderna<sup>5</sup>. Nessa direção situa-se a parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo<sup>6</sup>.

Apresentaremos a seguir os balizadores produzidos como definidores da TLS. Eles são fruto da etapa inicial de elaboração de uma sequência de ensino-aprendizagem segundo a metodologia DBR-TLS. Nela alguns pontos especiais merecem especial atenção: discussão de possibilidades de temas e/ou tópicos para a sequência; tipos de operacionalidade, de competências e habilidades e de saberes almeçados para a sequência didática.

Neste contexto também se insere pesquisas sobre conhecimentos prévios, concepções alternativas, estudos sobre concepções de ciência de professores e estudantes e critérios de validação em abordagens TLS.

## **5. OBJETIVOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Os objetivos traçados em consonância com o perfil metodológico delineado para a sequência didática são os seguintes:

- ◆ Produzir uma sequência didática que em que os princípios fundamentais da mecânica possam ser apreendidos de maneira mais “palpável” e significativa.
- ◆ Obter por parte dos alunos um engajamento cognitivo de alto nível e com isso um alcançar um melhor entendimento conceitual da quântica.
- ◆ Mapear os níveis de interesse e de engajamento da turma.

Os instrumentos de avaliação serão produzidos a partir dos objetivos de aprendizagem traçados para cada módulo da sequência didática.

## **6. ABORDAGENS METODOLÓGICAS, DIDÁTICO-PEDAGÓGICAS E RECURSOS INSTRUCIONAIS PARA A PRODUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

- ❖ Trazer para sala de aula resultados recentes em áreas de pesquisa da quântica, em especial da ótica quântica.
- ❖ Utilização de tecnologia de informação e comunicação e ferramentas computacionais.
- ❖ Ênfase nas problematizações e dúvidas produzidas por alunos e instrutores.
- ❖ Utilização de um sistema alinhado de ensino aprendizagem.
- ❖ Atividades Coletivas de engajamento.
- ❖ Criação e aplicação de instrumentos de verificação de aprendizagem e/ou de conhecimentos prévios que levem em conta visão de ciência dos alunos (epistemologia).
- ❖ Discussão detalhada com os alunos a respeito dos princípios da sequência didática e dos seus objetivos.

---

<sup>5</sup> O presente trabalho desenvolve-se como parte de um projeto de pesquisa de pós-doutorado realizado por um dos autores e sob supervisão do Prof. Dr. Mauricio Pietrocola coordenador do NUPIC.

<sup>6</sup> O professor José Roberto Castilho Piqueira, docente da Escola Politécnica da USP que trabalha com uma disciplina de pós-graduação na área de informação quântica (LISBOA; PIQUEIRA, 2011) e também produz textos de interesse para o público-alvo da sequência didática (PIQUEIRA, 2011).



## 6.1 Instrumentos e critérios de avaliação

Os instrumentos de avaliação da TLS são os seguintes:

- ◆ Questionário de verificação de entendimento conceitual (McKAGAN et al, 2010)
- ◆ Mapeamento, acompanhamento e aprofundamento dos tipos de questões e de expectativas produzidas por instrutores e por alunos.
- ◆ Análise da busca e da consulta de material produzida pelos alunos.
- ◆ Questionários e entrevistas com alunos para avaliar aceitação da proposta e do grau de engajamento nas atividades didáticas.

Além destes, serão relevantes, informações obtidas sobre a operacionalidade didática da sequência, a partir das observações em sala de aula e por meio de entrevista com os instrutores e colaboradores do grupo de pesquisa.

Com esses recursos, a construção da sequência didática segundo um modelo de construção coletiva buscará incorporar elementos reais de multidisciplinaridade, diversidade metodológica e contemporaneidade.

O público-alvo são estudantes de graduação de engenharia em fase inicial de curso (até 2º ano). Para isso estudaremos a necessidade de inserção de um módulo com ferramental matemático mínimo de álgebra linear para que se atinja plenamente os objetivos traçados para a sequência didática.

Almeja-se que a sequência didática sirva como laboratório de inovação e atualização curricular (tanto em sentido de conteúdo quanto metodológico) dos cursos de Engenharia com vista a possibilitar introdução de tópicos de mecânica quântica relacionando conceitos científicos e técnicos dessa área com entendimento de questões envolvendo manipulação de informação de sistemas quânticos em nível acessível para estudantes de graduação.

### *Agradecimentos*

Ao Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará pela liberação para o pós-doutoramento. Ao professor Olival Freire Júnior por ter gentilmente disponibilizado seu artigo ainda em fase de publicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. F; NASSAR, A. B; BASSALO, J. M. F; SOBRINHO, C. L, da S. S; SOUZA, N.P.C. . Una ingeniería para la Amazonia. *REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA*, v. 71, p. 32-36, 2009.

COLLECTIVE, Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, vol. 32 (5) pp. 1-5, 2003.

GRECA, I. M.; FREIRE JR. Meeting the challenge: quantum physics on introductory courses. Submetido para publicação. 2012.

GRECA, I. M.; HERSCOVITZ, V. E. Superposição linear em ensino de mecânica quântica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 61-77, jan. 2005.





GRECA, I. M; MOREIRA, M. A; HERSCOVITZ, V. Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 444-457, dez. 2001.

GRECA, I. M; MOREIRA, M. A. Uma revisão de literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 29-56, mar. 2001.

LIJNSE, P and KLAASSEN, K. Didactical structures as an outcome of research on teaching learning sequences?;. *International Journal of Science Education* (2004) vol. 26 (5) pp. 537-554.

LÜDKE, M. e ANDRÉ, M.E.D.A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*, 1ª reimpressão, S. Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

LISBOA, Alexandre Coutinho; PIQUEIRA, José Roberto Castilho. A DISCIPLINA “TEORIA QUÂNTICA DE INFORMAÇÃO”: EXPERIÊNCIA DE CRIAÇÃO E OFERECIMENTO NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA EPUSP. *XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*. CD-ROM (1639), 2011.

McKAGAN, S. B; PERKINS, K. K; WIEMAN, C. E. The Design and Validation of the Quantum Mechanics Conceptual Survey. *Phys. Rev. ST. Physics Ed. Research* 6, 020121, (2010)

McKAGAN, S. B; PERKINS, K. K; WIEMAN, C. E. Reforming a large lecture modern physics course for engineering majors using a PER-based design. *AIP Conf. Proc.* 883, pp. 34-37; doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2508685>, 2007.

McDERMOTT, L.C. & REDISH,E.F. Resource letter:PER-1:Physics education research. *AmericanJournalofPhysics*,67(9),755-767. 1999.

NASSAR, A. B; ALMEIDA, J. F; BASSALO, J. M. F. A Física e os novos rumos da Engenharia na Amazônia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 30, n. 1, 1307 (2008a).

NASSAR, A. B; SOBRINHO, C. L, da S. S; ALMEIDA, J. F; BASSALO, J. M. F; de SOUZA, N. P. C. Uma Engenharia para a Amazônia. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE, 2008, São Paulo. *Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, 2008b.

PERFOLL, A. P; REZENDE JÚNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea e o ensino de engenharia: Contexto e perspectivas. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE, 2006, Passo Fundo. *Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, 2006, p 11.55-11.68.



PIETROCOLA, MAURÍCIO PINTO DE OLIVEIRA. *Inovação Curricular e Gerenciamento de Riscos Didático-Pedagógicos: o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na escola média*. 2010. Erudição. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

PIQUEIRA, José Roberto Castilho. Teoria quântica da Informação: impossibilidade de cópia, entrelaçamento e teletransporte. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, 4303, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. Projeto Ciência e Tecnologia no Brasil. *Propostas de Diretrizes e Programas do Grupo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico no Brasil*. SBPC, 2005.

SZAJNBERG, M; ZAKON, A. AMPLIAÇÃO E READEQUAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA PARA A ENGENHARIA DO TERCEIRO MILÊNIO. *VII ENCONTRO DE ENSINO DE ENGENHARIA*, 2001.

## **DEVELOPING A TEACHING LEARNING SEQUENCE WITH TOPICS OF QUANTUM MECHANICS TO ENGINEERING COURSES**

**Abstract:** *There are many and profound interfaces between engineering and the basic sciences, especially physics science. In relation to modern physics there are numerous examples of applications of this branch of physics in several areas of the engineer profession. The need of a vigorous science, modern and solid foundation in the field of Engineering intending sustainable growth for the technological and industrial innovation of the country is imperative. However, studies show that topics in modern physics earn very little attention in the undergraduate courses of engineering. In the context of innovation research at the level of teaching content and teaching methodologies we present the characteristics of a methodological approach used in teaching science known as Teaching Learning Sequences (TLS) as well as we expose the initial stages of designing and development of a teaching-learning sequence containing topics of quantum physics-oriented graduate programs in engineering. More specifically, the sequence will cover topics necessary for understanding the interface classical computing x quantum computing. The sequence has attributes of interest, since it has the benefit of addressing key aspects of quantum mechanics in a more tangible, relating them with technologies already in use and increasing interest.*

**Key-words:** *Physics Educations Research; Teaching Engineering Education, Teaching learning sequences (TLS), Topics in Quantum Mechanics.*