

# **A Teoria dos Modelos Mentais e a Aprendizagem da Física Quântica**

## **The Theory of Mental Models and Learning of the Quantum Physics**

**Marcos Rogério dos Reis**

IFRS, Campus Sertão  
reis.marcos@ibest.com.br

**Renato Pires dos Santos**

ULBRA/PPGECIM  
fisicainteressante@gmail.com

### **Resumo:**

Entender tecnologias associadas aos fenômenos físicos é uma necessidade da sociedade contemporânea. No entanto os professores do ensino médio sentem dificuldade em tratar de temas mais recentes na descoberta científica humana (REIS, 2013; PEREIRA e OSTERMANN, 2009), tais como a Física Quântica. Este trabalho busca na Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983) contribuições para o ensino da Mecânica Quântica (MQ), na forma de sugestões de procedimentos aos professores, considerando seus comportamentos já discutidos na literatura científica. Por se tratar de um documento breve, essa Teoria dos Modelos Mentais não foi analisada na íntegra e também não foi correlacionada a outras obras de seu autor (Johnson-Laird).

**Palavras Chave:** modelos mentais, física quântica, ensino de física.

### **Abstract:**

Understanding the physical phenomena associated technologies is a necessity of contemporary society. However, high school teachers find it difficult to address issues in the most recent scientific breakthrough human (REIS, 2013; PEREIRA e OSTERMANN, 2009), such as quantum physics. This work aims at the Mental Models Theory of Johnson-Laird (1983) contributions to the teaching of Quantum Mechanics (QM), in the form of suggested procedures for teachers, considering their behavior as discussed in the scientific literature. As it is a short document, this theory was not examined in full and was not correlated to other works of its author (Johnson-Laird).

**Keywords:** mental models, quantum physics, physics teaching.

## Introdução

O Autor - Professor do IFRS, Campus Sertão, desde 1992 - realizou diversos experimentos no Ensino Médio e Superior (Bacharelado em Zootecnia) na incansável tentativa de introduzir Física Moderna na disciplina de Física Básica (REIS, 2013) e obter resultados satisfatórios com o ensino de Física Qualitativa (FORBUS, 1984).

Foge ao âmbito deste trabalho discutir a importância da mecânica quântica junto à sociedade do século 21, em virtude da grande investida da medicina nuclear e seus equipamentos de exames de Imagens de Ressonância Magnética, Tomografia de Emissão de Pósitrons, etc. Entender estas tecnologias associadas aos fenômenos físicos é uma necessidade da sociedade contemporânea e para atingirmos é indispensável começarmos pelo ensino médio. Porém, os professores de ensino médio sentem dificuldades em tratar de temas tão recentes na descoberta científica humana. A tese de Greca (2000) pretende “investigar os estudantes universitários em relação a conceitos quânticos fundamentais”, e afirma que:

“Para um adequado ensino no nível médio, bem como para a utilização na tecnologia, deve a Mecânica Quântica antes ser entendida pelos professores de Física, que lecionarão no secundário, e pelos estudantes dos cursos de Ciências Exatas” (GRECA, 2000, p. 13).

Em acompanhamento à disciplina de Mecânica Quântica (MQ), em diversas universidades, Greca afirma que “os conceitos quânticos resultam difíceis de serem rapidamente assimilados pelos alunos, convertendo, muitas vezes, a Mecânica Quântica ‘nessa misteriosa, confusa disciplina que ninguém realmente compreende, embora saibamos como usar’ (Gell-Mann, 1981)” (GRECA, 2000, p. 13).

Nesta linha de pensamento, onde se busca um ensino que contemple o “procedimento eficaz” quanto às estratégias utilizadas e ao material didático adequado, citamos comentário sobre o livro de Pessoa Jr. (2003):

“Diferentemente dos textos tradicionais de MQ, o livro inova devido à preocupação do autor em apresentar e discutir as várias interpretações da MQ, [...] encontramos discussões sobre uma variedade de fenômenos quânticos e, quando necessário, o autor faz uso, sem receio, do formalismo matemático da MQ. Os fenômenos são descritos e analisados de acordo com cada uma das interpretações que ele discrimina: ondulatória, corpuscular, dualista realista e da complementaridade” (MIZRAHI, 2005).

Nota-se que Pessoa Jr. (2003) desenvolveu em seu livro uma metodologia que Forbus (1984) em suas pesquisas considera como Física Qualitativa. Já Borges (1997, p. 212) considera que a Física Qualitativa “[...] estuda como as pessoas representam e raciocinam sobre o mundo físico [...] Seu objetivo é capturar o raciocínio de senso comum de pessoas e também o conhecimento tácito de especialistas e cientistas ao lidar com sistemas físicos”.

Resta-nos analisar a Teoria dos Modelos Mentais aos olhos do ensino da Mecânica Quântica, considerado um desafio à imaginação e a criatividade dos professores, visto que inúmeras tentativas de implementar modelos mentais no ensino de Física, como investigado e citado por Arruda (2003), Greca (1998a; 1998b) e Borges (1999) se resume a implementação em experimentos de eletricidade e eletromagnetismo.

Considerando que Modelos Mentais é um tema contemporâneo e bastante publicado em

artigos relacionados ao ensino de Física, pretende-se fazer aqui uma reflexão sobre o ensino da Física Quântica e a Teoria de Modelos Mentais, segundo Johnson-Laird (1983). Analisamos alguns trabalhos na área de Ensino da Física Quântica e os associamos às idéias da Teoria dos Modelos Mentais.

### **A Teoria dos Modelos Mentais e o Ensino de Física Quântica**

Johnson-Laird (1983), ao analisar o livro de Kenneth Craik “*A Natureza da Explicação*” (1943), observa as analogias dos mecanismos com engrenagens que representam o funcionamento do Sol e os planetas – próprios do século XIX; a representação do funcionamento das marés com o invento de Kelvin, conhecido como *Predictor*<sup>1</sup>; e a representação de fenômenos através de modelos científicos desenvolvidos pela criatividade humana.

Considerando sua análise dos modelos científicos mecânicos utilizados nas ciências, Craik afirma que “o ser humano raciocina com modelos” (CRAIK, 1943). Afirma também que o processo do raciocínio “simula” modelos que somente existem na mente do indivíduo, obtendo resultados semelhantes ao mundo real (físico) e, com alguns dispositivos mecânicos do modelo consegue-se representar o processo físico que se deseja prever – esta simulação torna-se tanto mais útil quanto mais precisa ela for em comparação com o fenômeno físico que representa.

Johnson-Laird (1983) utiliza-se dos recursos computacionais existentes, na época, para afirmar que o modelo da mente humana é computável – este modelo de pensamento computável, ou “paralelo da realidade” (CRAICK, 1943), pode realizar mentalmente simulações e/ou previsões, considerando várias alternativas e optando pela melhor - reagindo a situações “futuras inesperadas”, mas previsíveis – associando eventos passados em benefício do entendimento do presente e do futuro, reagindo de modo seguro e mais competente às circunstâncias que devem ser enfrentadas.

Ao estudar a racionalidade humana e suas representações, a ciência cognitiva depara-se com as questões a respeito do que é uma “explicação satisfatória” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 4-8 e passim), quando uma explicação leva outro indivíduo a “compreender” – quando um procedimento torna-se eficaz – sob a forma de algoritmo (computável). Esta é a teoria que descreve o mundo, uma teoria para ser compreensível deve satisfazer a necessidade de ter uma “explicação satisfatória” (Ibid.) – qualquer teoria deve ser formulada como um procedimento eficaz, ela deve ser elaborada de modo lógico e sequencial que torna-se computável.

É necessário tornar a física quântica algo natural no pensamento do estudante, rompendo a barreira do formalismo através de desenvolvimento de estratégias que venham a privilegiar a formação de conceitos em detrimento ao formalismo matemático - este pode ser desenvolvido em um segundo momento, possivelmente em EAD.

Então, considera-se fundamental investir em Física Qualitativa (FORBUS, 1984; BORGES, 1997, p. 212) para que a partir deste modelo de Ciência possamos desenvolver a Teoria dos Modelos Mentais - esta tentativa de capturar e formalizar o conhecimento da física qualitativa exige um conhecimento mínimo, complexo, e uma análise criteriosa das possibilidades envolvidas, haja vista nossas limitações do conhecimento dos processos.

---

<sup>1</sup> Construído por Sir William Thomson (Lord Kelvin), no final do século XIX para prever o fluxo e refluxo das marés, e a variação irregular nas suas alturas.

Portanto, para o professor desenvolver a condição de “explicação satisfatória”, segundo Johnson-Laird (1983), precisa ter conhecimento das capacidades cognitivas dos indivíduos e do fato que o ser humano pensa qualitativamente e não quantitativamente – o pensamento humano não é “regido” por números irracionais, mas por situações com medidas qualitativas (maior, menor ou igual).

Assim, Greca (2000) e Pessoa Jr. (2002) seguem, em suas produções didáticas e acadêmicas, intuitivamente o desenvolvimento da Física Qualitativa pesquisada por Forbus (1984) e Borges (1997), proporcionando condições para desenvolver “explicações satisfatórias” para o “ouvinte” (aluno) desenvolver modelos mentais segundo suas crenças e conhecimento anteriores.

Quando consideramos o conhecimento anterior – um modelo pré-existente e incompleto – associado à memória (habilidades de recordar) e à semântica do problema, proporcionam condições para inferência (dedução). Percebe-se o quanto é importante o “conhecimento anterior”, suas experiências para dar condições necessárias ao desenvolvimento de premissas simples, arbitrárias, e verdadeiras dentro do contexto inicial e superficial. Estas “inferências auxiliares são parte de um esquema maior” que somente será desenvolvido se superarmos o momento inicial da aprendizagem.

A aprendizagem infantil ocorre naturalmente, sem uma lógica formal, sem tabelas de verdade para fazer inferências e desenvolver proposições, porém o ensino da Física Quântica ocorre de modo complexo, desastroso, formal, e com “procedimentos não eficazes”. O privilégio da dedução está excluído deste raciocínio que deve seguir o livro-texto e a bateria de cálculos matemáticos obtidos nos mais diversos livros de Física Quântica desconexos de um modelo físico e/ou qualquer estratégia tecnológica do século 21. Segundo Johnson-Laird (1983), “Crianças encontram inferências válidas na forma verbal e, diz-se, que as regras abstratas de inferência a partir deles, da mesma forma que eles adquirem regras gramaticais” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 24).

Johnson-Laird (1983) faz referências a antecedentes, condicionais, a opinião do indivíduo, “estoque de crenças”, chegando a sugerir um procedimento geral para condicionais, na tentativa de manter a consistência do raciocínio, porém após análises e contra exemplos esta teoria é parcialmente refutada.

Oportunamente, quando nos deparamos com a complexidade da física quântica – cita a exemplo, as quatro interpretações básicas da física quântica (PESSOA, 2003, p. 5) – ocorre um choque e/ou contradições com as crenças. Neste momento, como professor, deve-se intervir para eliminar interpretações tendenciosas, como reflexo das crenças e conhecimento geral dos alunos, e salientar a semântica e o contexto.

Se o problema da ciência cognitiva é saber lidar com o erro “muito comum no pensamento humano” e/ou ao elaborar modelos mentais “incompletos”, buscando soluções ao incorporar teorias com um pensamento construtivo, ao transcrever este pensamento ao ensino da física quântica e considerando que o formalismo matemático condena o erro, e um ensino qualitativo busca a construção de modelos casuais simples do sistema físico.

Johnson-Laird (1983, p. 126) considera dois tipos de inferências: primeiro aquele que tem sido considerado e abordado segundo o rigor da lógica formal, algo racional e consciente, voluntário e explícito; segundo as inferências mais comuns e corriqueiras que ocorrem sem tomada de consciência do indivíduo, mas que ele as realiza de modo satisfatório, segundo um julgamento intuitivo e uma interpretação rápida do discurso, seriam implícitas. Quando estamos utilizando os recursos implícitos da nossa mente, o

raciocínio inconsciente, rápido e de certo modo cotidiano, estamos considerando nosso conhecimento geral sobre o mundo em que estamos envolvidos e nossas experiências anteriores dentro desse mundo.

Parece que o formalismo matemático seria um fim último; após ocorrer o entendimento e desenvolvimento de um modelo conceitual da física quântica seria prudente introduzir gradativamente algoritmos matemáticos (formalismo) para a resolução de problemas. Estes algoritmos de resolução seguem um padrão de desenvolvimento matemático e são “assimilados” pelos alunos corriqueiramente, pois faz parte de sua vida estudantil resolver problemas matemáticos dissociados dos fenômenos físicos. Como Greca afirma:

“Ainda que em alguns momentos pareceria tentar-se discutir aspectos mais conceituais, a ênfase geral do ensino reside na facilitação da aprendizagem dos algoritmos de resolução de problemas, não na compreensão do significado físico da teoria” (GRECA, 2000, p. 16).

Estudos sobre processos mentais sem conteúdo sensorial ou imaginário, levam-nos a uma nova perspectiva que surgiu sobre as imagens e agregou valores explicativos à teorização psicológica. Assim, Johnson-Laird (1983) argumenta que existem diferentes tipos de representações lógicas – seriam diferentes codificações para a informação relevante,

“Em particular, devo argumentar que existem pelo menos três tipos principais de representação - modelos mentais, representações proposicionais, e imagens, vou esboçar uma teoria que relaciona modelos mentais tanto para as representações proposicionais e de imagens, que são tratados como uma classe especial de modelos” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 146).

Existe, assim, uma relação entre imagens e modelos mentais, onde as imagens representam o ponto de vista do modelo: como resultado da percepção ou da imaginação; ou a representação das características perceptíveis dos correspondentes objetos do mundo real. Recordamos o exemplo do *Predictor* de Craik em “A Natureza da Explicação” (1943). Johnson-Laird (1983) traz referências da ciência física para tentar explicar seu pensamento, sobre representações mentais, citando:

“Conceitos físicos são livres criações da mente humana, mas no entanto o que possa parecer, é que são determinados unicamente pelo mundo externo. Em nosso esforço para compreender a realidade que são um pouco como um homem tentando entender o mecanismo de um relógio fechado. [...] As mesmas limitações se aplicam sobre o conhecimento, a *fortiori*, para a psicologia, e as teorias sobre representações mentais” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 148).

Quando nos referimos à Física Quântica teremos que ser criativos para representar – desenvolver uma imagem na mente dos alunos – os fenômenos físicos através de simulações computacionais. Por tratarmos de tema avançado acreditamos serem inconcebíveis representações estáticas, físicas e/ou rabiscos em quadro negro. As simulações, por outro lado, oportunizarão a criação de uma imagem de um fenômeno específico, nota-se:

“Las imágenes representan cómo algunas cosas son vistas desde un punto de vista particular” (Johnson-Laird, 1990, p 124) [...] que opera en sus mentes de manera aislada, proposicionalmente, pero a la que no le atribuyen ningún sentido, ningún significado, no suponiendo su

posesión la construcción de un modelo mental subyacente como análogo [...]” (GRECA, 2002).

Nota-se, então, que o indivíduo em convívio social acaba por relacionar-se e atuar como orador (professor, palestrante) e ouvinte aonde vem a sofrer evolução nos significados de suas palavras conforme o conhecimento adquirido pelo indivíduo. Este novo significado sofre uma acomodação criando um novo modelo (mental) de palavra deixando de ser inefável. Em um discurso há duas coisas que devem ser representadas: o seu sentido; e seu significado. Em um nível superior há diferenças estruturadas e funcionais entre uma representação proposicional que capta sentido e um modelo mental que capta significância.

Já a recursividade é fundamental para o aperfeiçoamento do modelo mental inicial. Neste momento, o aluno avalia e reconstrói o modelo segundo os predicados (frases do discurso), sua interação com a simulação digital e com suas crenças e conhecimento geral implícitos.

Nota-se que, o ser humano identifica um conjunto de palavras e frases quando são caótico de uma sequência de frases que tenha sentido; também é capaz de considerar, diante de um script, que permite a um orador deixar muitas coisas não ditas – subentendidas - com a certeza de que o ouvinte será capaz de preenchê-las por padrão. Um conjunto numérico caótico não faz sentido - pois números sem significado, sem uma relação aos fenômenos físicos facilmente tornam-se um conjunto caótico, aos olhos dos alunos.

Como afirma Johnson-Laird (1983), os modelos mentais se supõem existir na cabeça das pessoas, e sua constituição exata é uma questão empírica. O que podemos entender do mundo depende de nossa capacidade conceitual sendo possível descobrir restrições sobre o que a mente pode conceber contendo coisas e substâncias, suas propriedades, e as relações entre eles. Assim, a natureza da mente e do seu sistema de percepção exercer um efeito decisivo sobre o mundo que percebemos.

Nota-se que, o aluno, através de suas habilidades e capacidades conceituais desenvolve representações em sua mente; estas, quando orientadas e bem direcionadas podem compor imagens e/ou modelos mentais. Em experimentos pesquisadores, desprovidos de uma teoria cognitiva, identificam que,

“[...] o aluno usualmente invoca uma representação do mundo físico em sua mente, uma representação que em geral vai além das observações no laboratório. Ele imagina partículas como bolinhas, imagina uma onda se propagando, imagina um microscópio de raios gama, etc. O aluno busca interpretar os diferentes símbolos e procedimentos matemáticos, ou seja, imaginar a que entidades reais eles correspondem, se é que se possa dizer que eles correspondam a alguma coisa.” (PESSOA JR., 2002, p. 107).

O professor ao fazer suas opções de material didático (estratégias) – atuando como orador na teoria dos modelos mentais, induz o aluno a um roteiro, como ouvinte, e a um desenvolvimento de um modelo mental do mundo a ele apresentado, considerando a semântica do discurso e o contexto em volta do meio acadêmico. Este desenvolvimento do modelo mental e suas possibilidades de mundos possíveis são resultados da existência do orador (professor) e suas estratégias.

### **Considerações Finais:**

Nota-se que a Teoria foi analisada como uma forma de pensar e não como uma

ferramenta de análise e avaliação de conteúdos ministrados em sala de aula – como temos verificados nos diversos artigos disponíveis na Web (revistas eletrônicas), sobre Modelos Mentais. Acredito que o professor que possui domínio do conteúdo da Mecânica Quântica – mesmo nos métodos tradicionais, priorizando o formalismo matemático – está apto a conhecer o pensamento da Teoria dos Modelos Mentais e implementá-los no Ensino da Física Quântica e qualitativa (a priori). Se o mesmo desenvolver tais habilidades para trabalhar com “representações proposicionais”, “modelos mentais” e “imagens”, este professor facilmente conseguirá apresentar (orador, orientador) aos alunos (ouvintes) diversos modelos mentais possíveis para uma mesma sequência de conteúdos – realidades possíveis.

Bons trabalhos existem nesta linha, mesmo que não associados à Teoria dos Modelos Mentais. Citam-se o livro de Pessoa Jr. “Conceitos de Física Quântica”, Volume I e II (2003) e a dissertação de Parisoto (2011) “Aplicações do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas, da Física Moderna e Contemporânea na Medicina” - entre outros tantos não divulgados e/ou pouco conhecidos. Trabalhos práticos, empíricos, ricos em atividades acadêmicas, laboratoriais (digitais ou não) voltados aos conceitos da física e posterior ao formalismo matemático – indispensável mas no momento oportuno – levam o aluno (ouvinte) à compreensão e construção de modelos mentais da física conceitual, base para o conhecimento do formalismo matemático na física. Então, considera-se fundamental investir em Física Qualitativa (FORBUS, 1984; BORGES, 1997, p. 212) para que a partir deste modelo de Ciência possamos desenvolver a Teoria dos Modelos Mentais.

Quanto aos trabalhos citados, podemos identificar dois comportamentos do professor de Física Quântica: aquele que trabalha o discurso, conhecendo as melhores teorias educacionais e implementa o ensino da Física nos modos clássicos (formalismo matemático isolados dos conceitos); e aquele que trabalha segundo sua intuição desenvolvendo estratégias de modo empírico e dedutivo conduzindo os alunos com “explicações satisfatórias” e levando-os a “compreender” e tornando os “procedimentos eficazes”.

Em analogia ao *Predictor* seus alunos elaboram modelos mentais onde o “conhecimento do mundo depende da sua capacidade de construir modelos do mesmo” - corretos ou não, mas recursivos, segundo sua percepção e concepção. Assim podemos afirmar que o aluno “possui um modelo mental do sistema de crença de outra pessoa” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 340-345 e passim).

## Referências:

ARRUDA, Dayse Mourão. Modelos Mentais. **Nota Técnica**. Instituto Nacional de Tecnologia, Ministério da Ciência e Tecnologia. Fev. 2003. Disponível em [http://www.nce.ufrj.br/ginape/publicacoes/trabalhos/t\\_2002/t\\_2002\\_turma\\_modelagem\\_cognitiva\\_e\\_educacao/RelModelosMentais.pdf](http://www.nce.ufrj.br/ginape/publicacoes/trabalhos/t_2002/t_2002_turma_modelagem_cognitiva_e_educacao/RelModelosMentais.pdf). Acesso em 25 de abril de 2013.

BORGES, Antonio Tarciso. Como Evoluem os Modelos Mentais. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Vol. 1, No 1, 1999.

**BORGES, Antonio Tarciso. Como Evoluem os Modelos Mentais. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Vol. 1, No 1 (1999). Disponível em: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/viewArticle/15>. Acesso em 25 de abril de 2013.**

- CRAIK, Kenneth James Williams. **The Nature of Explanation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1943.
- FORBUS, Kenneth D. **Qualitative Process Theory**. The Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, U.S.A. *Artificial Intelligence* 24, p. 85-168, 1984.
- GELL-MANN, Murray. **The nature of matter**. Oxford: Clarendon Press, 1981.
- GRECA, Ileana María. **Construindo Significados em Mecânica Quântica**: resultado de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física Geral. 284 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- GRECA, Ileana María; MOREIRA, Marco Antonio. **Modelos mentales y aprendizaje de Física en Electricidad y Magnetismo" en Enseñanza de las Ciencias**. *Revista Alambique* v. 16, n. 2, p. 289-303, 1998a.
- GRECA, Ileana María; MOREIRA, Marco Antonio. **Modelos Mentales, Modelos Conceptuales y Modelización**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 15, n. 2: p. 107-120, ago. 1998b.
- GRECA, Ileana María; MOREIRA, Marco Antonio; PALMERO, M<sup>a</sup> Luz Rodríguez. **Modelos Mentales Y Modelos Conceptuales En La Enseñanza & Aprendizaje de Las Ciencias**. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 37-57, 2002.
- JOHNSON-LAIRD, Philip N. Mental models. In: Posner, M. (ed.), **Foundations of cognitive science**. Cambridge, MA: MIT Press, p. 469-499, 1990.
- JOHNSON-LAIRD, Philip N. **Mental models**. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1983.
- MIZRAHI, Salomon S. **Abordagem epistemológica em um livro-texto sobre mecânica quântica**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 2, p. 309 - 310, 2005.
- PARISOTO, Mara Fernanda. **O Ensino de Conceitos do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas, da Física Moderna e Contemporânea Através de Situações na Medicina**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Instituto de Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o Ensino da Física moderna e Contemporânea: Uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências** – v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.
- PESSOA JR, Osvaldo; MONTENEGRO, Roberto Luiz. Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos Alunos do Curso de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 107-126, 2002.
- PESSOA JR., Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica**, vol. 1. São Paulo: Livraria da Física, 2003. 189 p.
- REIS, Marcos Rogério dos. Utilização de um Modelo Pedagógico Digital para a Formação de Modelo Mental, em ensino de Física Moderna em Moderna Curso Técnico. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*. N° 43. P. 25-36. Julio 2013.