

# **Indeterminação e incerteza: a reconceptualização de conceitos de mecânica quântica a partir de uma atividade mediadora**

## **Indeterminacy and uncertainty: the reconceptualization of concepts of quantum mechanics from a mediating activity**

**Carlos Roberto Senise Junior**

Universidade Federal de São Paulo- Campus Diadema  
[carlos.senise@gmail.com](mailto:carlos.senise@gmail.com)

**José Bento Suart Júnior**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana  
[suart@utfpr.edu.br](mailto:suart@utfpr.edu.br)

**Flaviston Ferreira Pires**

Universidade Federal de São Paulo- Campus Diadema  
[ton.fpires@hotmail.com](mailto:ton.fpires@hotmail.com)

**Rúbia de Fátima Antunes Martins Fernandes**

Universidade Federal de São Paulo- Campus Diadema  
[fernandes\\_rubia@hotmail.com](mailto:fernandes_rubia@hotmail.com)

### **Resumo**

A introdução de tópicos de física moderna e contemporânea se justifica pela influência crescente desses conteúdos para o entendimento do mundo atual. Mas, constata-se, na literatura, que as propostas existentes para o ensino de física quântica costumam originar-se em um princípio comum: a partir da Mecânica Clássica e/ou analogias advindas dela. Outro problema encontrado é que a complexidade filosófica dos conceitos quânticos não é discutida. Neste contexto, este trabalho propõe o estudo das concepções de alunos da educação básica sobre incerteza e indeterminação no interior de uma sequência didática para o Princípio de Incerteza, e o impacto de uma atividade desenvolvida especificamente para a discussão de tais aspectos. A atividade utilizada mostrou-se produtiva, uma vez que os dados mostram que os alunos procuraram ampliar as diferenças entre incerteza e indeterminação, assim como associar características ontológicas à segunda em virtude do tipo de desafio impostos pela atividade proposta.

**Palavras chave:** incerteza, indeterminação, mecânica quântica, ensino

### **Abstract:**

The introduction of modern and contemporary physics is justified by the influence of the contents of the present world. However, in the literature, it is observed that the proposals for the teaching of quantum physics usually are originated from a common principle: the Classical

Mechanics or analogies arising from it. Another problem is that the philosophical complexity of quantum concepts is not discussed. In this context, this work proposes the study of basic education students' conceptions about uncertainty and indeterminacy within a didactic sequence for the Uncertainty Principle, and the impact of an activity developed specifically for a debate on the subject. The activity used proved to be productive, since the data show that the students sought to widen the differences between uncertainty and indetermination, as well as to associate ontological characteristics to the second one due to the type of challenge imposed by the proposed activity.

**Key words:** uncertainty, indeterminacy, quantum mechanics, teaching

## Introdução

A introdução de tópicos de física moderna e contemporânea, além de constituir um caráter de atualização ao currículo de física, se justifica pela influência crescente desses conteúdos contemporâneos para o entendimento do mundo atual e suas tecnologias, de forma a fazer a ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano.

No entanto, revisões bibliográficas (OSTERMANN e MOREIRA, 2000; PEREIRA e OSTERMANN, 2009; SILVA e ALMEIDA, 2011) mostram que, na literatura, os trabalhos que apresentam resultados da introdução de física quântica na educação básica são escassos, quando comparados a outros tópicos do ensino de física. Este cenário possivelmente se deve ao alto nível de abstração exigido, sendo necessário reconsiderar os pressupostos teóricos, abordagens e metodologias, de forma a minimizar as dificuldades na sua inserção na educação básica (BROCKINGTON, 2005).

Mesmo com a pouca tradição didática destes conteúdos mais atuais da física (OSTERMANN et al, 2009), constatamos que, na literatura, as propostas existentes para o ensino de física quântica costumam originar-se em um princípio comum: a partir da Mecânica Clássica e/ou analogias advindas dela. Fischler e Lichtfeldt (1992) indicam que as dificuldades na aprendizagem de física moderna se devem porque o ensino, com frequência, faz uso de analogias advindas da Mecânica Clássica. Ao considerar a física quântica, as analogias clássicas podem gerar concepções errôneas, uma vez que ambas as mecânicas possuem um caráter essencialmente distinto: a física quântica é probabilística e a física clássica é determinística. Assim, as analogias clássicas não constituem verdades no universo quântico.

De forma a vencer os obstáculos que podem ser gerados a partir de tais analogias na introdução da física quântica, Pereira e Ostermann (2009) defendem que a óptica ondulatória deve ser a porta de entrada para o mundo quântico.

Outro problema encontrado é que, geralmente, a complexidade envolvida no que concerne à teoria como desenvolvimento científico-filosófico não é abordada, nem mesmo o desafio epistemológico que é a Mecânica Quântica (MQ), quanto à ruptura com os conceitos clássicos, geralmente utilizados nas tentativas de transposição didática.

Em especial, os estudos relativos à estrutura da matéria, levantaram aspectos contrários a uma descrição física total da realidade como verdade do ponto de vista ontológico. A MQ revelava as limitações da observação e da compreensão intuitiva e cabe ressaltar que, dentro destas limitações, o Princípio de Incerteza corroboraria as limitações de uma descrição exata da realidade através da matemática, ao impor limitações à determinação de valores às variáveis físicas (CHIBENI, 2005). O que se observa é que ele também deteria o cerne do colapso do realismo dogmático, da visão determinista laplaciana, da mecânica newtoniana e dos postulados

positivistas. Ao limitar, muito mais que o conhecimento de valores discretos de variáveis, colocaria em xeque o conhecimento sobre a natureza e a natureza do conhecimento.

Contudo o próprio Heisenberg propõe três compreensões distintas para o Princípio de Incerteza, as quais tem consequências filosóficas distintas, contribuindo assim para a multiplicidade de interpretações existentes para o formalismo matemático da mecânica quântica. No cerne destas distintas compreensões reside a distinção entre limitações epistemológicas e ontológicas, entre as definições de incerteza e indeterminação. A plena compreensão e dialética existente entre tais aspectos onto-epistêmicos é importante no entendimento das limitações impostas pela MQ ao conhecimento da natureza assim como no posicionamento quanto à adoção de uma interpretação dentre as várias existentes.

Neste contexto, este trabalho propõe o estudo das concepções de alunos da educação básica sobre incerteza e indeterminação, assim como o impacto de uma atividade desenvolvida especificamente para a discussão de tais aspectos.

## Metodologia

A partir desses pressupostos, este trabalho apresenta a análise de uma atividade com ênfase em dados qualitativos em educação (ANDRÉ e LUDKE, 1986), levando em conta o cotidiano escolar como campo teórico (ANDRÉ, 2005). Os dados deste trabalho foram obtidos a partir de questionários pré e pós teste, considerando o meio escolar e suas interações, bem como gravações de áudio após o desenvolvimento, implementação e análise de uma atividade que compõe uma sequência didática de quinze (15) aulas aplicadas em uma turma de terceira série do ensino médio, com 32 estudantes, de uma escola particular localizada no município de São Bernardo do Campo – São Paulo.

A sequência propôs a introdução de aspectos de física quântica derivados de discussões de óptica física sobre a natureza da luz e foi desenvolvida por dois licenciandos, orientados por dois professores doutores de universidades públicas.

A sequência didática foi estruturada em quatro (4) blocos, abordando temas como efeito fotoelétrico, princípio de incerteza, uso e elaboração de modelos científicos e dualidade onda-partícula.

No presente trabalho trazemos a análise referente a uma atividade envolvendo o princípio de incerteza, mais especificamente no que diz respeito à possível diferenciação entre incerteza e indeterminação, por parte dos alunos. Certeza ou incerteza é uma propriedade do nosso conhecimento sobre as coisas, uma propriedade epistemológica. Determinismo ou indeterminismo é uma propriedade do mundo das coisas, uma propriedade ontológica (SILVEIRA, 1993). A atividade foi adaptada de Suart Jr, Zuliani e Carneiro (2013), utilizando materiais de baixo custo, e consistiu de três caixas de MDF lacradas, contendo diferentes sistemas em seu interior. Assim como em Suart Jr, Zuliani e Carneiro (2013), cada uma das caixas se referia a possíveis interpretações filosóficas para o Princípio de Incerteza de Heisenberg propostas por Chibeni (2005).

Uma das caixas contém em seu interior uma esfera que preenche todo o seu interior, de forma que, quando agitada, nenhuma resposta se obtenha com relação ao conteúdo da caixa. Uma segunda caixa contém em seu interior uma pequena esfera que deve permanecer livre no interior do sistema. No terceiro sistema temos uma esfera suspensa presa às laterais da caixa por “molas”, de tal forma que quando agitada levemente sinta-se uma vibração, e quando movida num pulso na direção ortogonal “às molas” a esfera possa se chocar com as extremidades da caixa, provocando som.

A proposta original de Suart Jr, Zuliani e Carneiro (2013) pautou-se em um ambiente de formação de professores. Como a atividade aqui apresentada foi aplicada para nível médio, as adaptações necessárias foram realizadas. Assim, utilizamos apenas duas das interpretações propostas por Chibeni (2005), sendo elas: i) indeterminação: baseada em princípios ontológicos, sendo admitida em detrimento da natureza ondulatória; e ii) incerteza: com bases epistemológicas, definindo-a como uma característica que vem dos limites do conhecimento sobre o sistema, devido à impossibilidade de dissociar observador e sistema.

Desta forma, o conjunto de atividades destinados ao desenvolvimento de tais conceitos foi organizado da seguinte forma: primeiramente, os alunos responderam ao seguinte questionamento:

“Uma colega sua, certa vez, assistindo a um programa de TV, viu que dois cientistas discutiam sobre um experimento. Um dizia que não tinha certeza sobre o resultado obtido, e o outro dizia que não conseguia determinar o que obteve. Ela então lhe disse que não entendeu o problema, pois não sabia a diferença entre incerteza e indeterminação. Como você explicaria isso para ela?”

As respostas foram coletadas e os dados organizados. Após a coleta das compreensões dos alunos acerca de incerteza e indeterminação, uma aula foi organizada para a discussão de tais conceitos através da proposta de Suart Jr, Zuliani e Carneiro (2013). Para tal, utilizou-se o mesmo procedimento descrito pelos autores, permitindo que os alunos interagissem com as caixas para que respondam à pergunta: “No interior das caixas existem esferas. Qual a posição inicial exata das esferas contidas nas caixas?”.

Para a realização da atividade, a turma foi dividida em três grupos, cada um com a posse de uma das caixas. Tendo em vista a pergunta acima sobre a posição inicial das esferas, o manuseio das caixas era livre. Depois de algum tempo interagindo com uma das caixas, os grupos trocaram as caixas entre si, de tal forma que os três grupos interagiram com as três caixas. Isto feito, houve um período de discussões no interior dos grupos, e depois disto foi solicitado a cada um deles que explicasse qual era a posição inicial de cada esfera em cada uma das caixas. Neste momento, houve uma discussão entre os grupos, onde cada um defendeu suas explicações e criticou as explicações dos outros grupos. Em alguns momentos das argumentações, ocorreram concordâncias em relação às críticas, fazendo com que algumas explicações fossem alteradas. Em meio à discussão, uma questão levantada foi se realmente havia uma posição inicial bem definida mas difícil de ser determinada ou se a posição inicial não era bem definida antes mesmo da interação com a caixa.

Os alunos então responderam mais uma vez à pergunta inicial proposta, procurando reconceitualizar suas compreensões de incerteza e indeterminação. Neste contexto, procurou-se compreender não apenas as concepções dos alunos acerca dos conceitos de incerteza e indeterminação, mas também o impacto pedagógico e conceitual que a atividade proposta pelos autores Suart Jr, Zuliani e Carneiro (2013) tem sobre tais concepções no contexto da educação básica. Por se tratar de uma pesquisa qualitativa em educação, a descrição do processo já se constitui como um resultado importantíssimo (ANDRÉ, 2005). Os resultados encontrados são descritos na seção subsequente.

## Resultados

Dos 32 alunos participantes do desenvolvimento de toda a sequência de atividades envolvidas no projeto relativo a conceitos de MQ, somente 25 participaram integralmente do pré-teste, da atividade didática desenvolvida e do pós-teste.

Com relação ao pré-teste as respostas de cinco alunos foram descartadas por encontrarem-se fora do contexto solicitado ou com um posicionamento vago ou mesmo tautológico, remetendo automaticamente a termos que já eram apontados no interior da própria pergunta.

Para o pré-teste, somente três alunos se aproximaram em sua conceptualização de indeterminação de requisitos ontológicos para a significação desta condição.

A7	Incerteza, você não está certo de sua resposta, assim não estou certo do que estou respondendo. Indeterminação, você não determinou a resposta, podendo ter outras.
A10	Incerteza como já diz é algo que não tem certeza, algo que não sabe se é certo. Indeterminação é algo que não é determinado, que não é certo e nem errado, então colocamos um conceito para determinar algo.
A13	Quando ele diz que não tem certeza com o resultado obtido, ele quer dizer que o resultado pode estar certo ou errado. Pode-se pensar que ele fará novos testes para confirmar seu resultado. A indeterminação citada pelo 2o cientista, significa que, não houve um resultado concreto, ou que ele não foi identificado.

Tabela 1: Dados pré-teste

Com relação a resposta dada por A10, destaca-se que o aluno aponta para os conceitos como uma construção advinda de fora da natureza, objeto de estudo das ciências. Em sua descrição fica clara a percepção da necessidade da outorga de uma ontologia para posterior conhecimento epistemológico, a qual é dada por um sujeito que não é o objeto em estudo, o que se manifesta no trecho [...] então colocamos um conceito para determinar algo. A ideia de falta de conhecimento ontológico em relação ao objeto de estudo fica clara no trecho em que o aluno admite que um resultado pode ser considerado “não identificado”, o que remete à falta de conhecimento de sua identidade, característica ontológica.

Foi encontrado entre os alunos também uma série de respostas, exemplificadas pelos alunos A11, A14 e A17 em que é utilizada uma limitação de conhecimento para classificar a indeterminação. Nestes casos, um resultado é obtido, ou seja, é possível realizar um experimento e obter dados em função de uma dada natureza; contudo, os resultados não são passíveis de compreensão, em virtude da falta de teorias passíveis de explicar os resultados encontrados.

A11	A diferença de incerteza e indeterminação, se define principalmente com base nos resultados obtidos, quando estamos incertos de algo refere-se diretamente ao que conhecemos, ou seja, existe um resultado porém meu conhecimento não me permite saber qual é, já a indeterminação se refere ao estudo de algo em si, algo que não possui um resultado conhecido, mediante a tudo que se conhece não se tem um resultado que seja coerente ao que foi estudado. (dei uma viajada aqui rs.)
A14	No caso, o cientista que está incerto de seu resultado, não sabe se aquilo que ele fez até chegar ao resultado está certo ou não, já o outro tem certeza do que fez, mas não sabe a funcionalidade desse resultado.
A17	No caso de incerteza, não é possível afirmar com precisão o resultado de algo baseando-se na variabilidade do conhecido, já na indeterminação, não compreende-se o resultado obtido, já que difere do conhecido.

Tabela 2: Dados pré-teste

As demais respostas mostraram que a maior parte dos alunos identifica indeterminação com incerteza, confundindo muitas vezes as dificuldades relacionadas aos resultados advindos da investigação científica aos métodos e teorias empregados, uma característica epistemológica do

ponto de vista filosófico. Tais associações podem ser exemplificadas pelas descrições dadas pelos alunos A2, A6 e A29:

A2	A indeterminação se constitui de algo que não possui uma resposta confirmada e a incerteza é quando há uma resposta dada, mas não se acredita se aquilo está mesmo correto.
A6	Incerteza é quando você chega a algum resultado porém está incerto se este resultado é o correto. Indeterminado é quando você chega a um resultado que julga correto, porém não sabe se este resultado é a resposta final da questão abordada.
A29	Incerteza é quando mesmo com um resultado, não se sabe que esse resultado está correto, já a indeterminação você tem diversos resultados mas não consegue determinar qual o certo.

Tabela 3: Dados pré-teste

A discussão realizada com a atividade das caixas mostrou-se bastante produtiva, uma vez que somente três alunos fugiram do tema do questionamento, excluindo suas respostas dos dados analisados.

Os dados coletados pós discussão realizada com a atividade das caixas mostram que um número maior de alunos, ainda que com ressalvas, conceituou indeterminação buscando limitar a possibilidade de conhecimento sobre algo do ponto de vista de sua própria natureza, ainda que nenhum dos alunos tenha realizado especificamente tal correlação em sua argumentação. Tal aspecto se reflete nas respostas dos alunos, como é possível verificar a seguir.

A5	Incerteza é quando alguém sabe que algo acontece, porém não tem a plenitude de como aquilo acontece. Já indeterminação é algo onde não conseguimos do lugar, não descobrimos nada e espera tudo cair do céu.
A8	O incerto seria o “não saber” com certeza o resultado ou o método usado. O indeterminado é a dúvida sobre o resultado ser a “coisa certa” (aspas do aluno).
A10	Incerteza é quando você não tem 100% de certeza na resposta. Indeterminação [é quando] você não achou uma resposta, ainda.
A25	Incerteza ocorre quando você não pode, sequer, garantir que algo existe; enquanto a indeterminação ocorre quando você não pode definir algo que existe.
A27	Incerteza: mostra que o “cientista” soube entender o que foi estudado e chegar a um resultado, no qual não tem certeza se está certo ou não (aspas do aluno); Indeterminação: o “cientista” não consegue nem compreender o que está sendo visto e estudado, não sabendo explicar o que é “aquilo” (aspas do aluno).
A29	Incerteza é quando você faz um experimento e não sabe se o resultado é realmente aquilo. Já indeterminação é quando você não tem ideia com o que se passa, sem ter respostas.

Tabela 4: Dados pós-teste

As respostas destes alunos convergem para a consternação presente durante o manuseio da primeira caixa, em que muitos deles sentiram-se em dúvida quanto a como proceder em virtude do sistema ser construído para corromper possibilidade de determinação de um resultado para a pergunta posta. Neste caso destaca-se o comentário feito por A5 em sua resposta a qual o aluno conclui com “espera tudo cair do céu.”

A dificuldade em apropriar-se da ideia de limitação ontológica pelo alunos é representada pelos alunos A4, A17 A23 e A24 que acabam por construir um argumento para indeterminação baseado em recursos epistemológicos, ou seja, na falta de teorias que possibilitem a compreensão do resultado obtido.

A4	Incerteza é uma coisa que não é totalmente certa. Indeterminação é uma coisa que não se consegue explicar ou entender, [ou] determinar.
----	---

A17	Pode-se imaginar que, na incerteza, as opiniões divergem entre possíveis resultados. Já na indeterminação, não compreende-se o resultado obtido, já que difere-se das possibilidades esperadas.
A23	O primeiro não tinha certeza se tinha um resultado e o segundo não tinha certeza do que obteve como resultado, mas sabe que obteve algo.
A24	Incerteza: quando você pratica uma ação e não tem certeza se o que obteve está certo ou não. Indeterminação: é quando você não consegue determinar ou entender o que alguma pessoa obteve em algum resultado.

Tabela 5: Dados pós-teste

Os alunos A9, A11 e A19 fizeram estreita correlação do problema com a natureza dos objetos quânticos, sendo A11 capaz de realizar a exposição de dois experimentos que chamam o problema de natureza das entidades quânticas para a discussão de seus resultados.

A9	A incerteza é algo que se tem probabilidades de respostas mas não a certeza, sendo apenas opiniões. Já a indeterminação é algo que não se tem uma solução, digamos que exata: podemos usar a física quântica como exemplo, ao meu ver.
A11	O princípio da incerteza se obtém a partir da produção de um experimento no qual vários resultados são obtidos, como no experimento da “dupla fenda”, onde interferências e alterações eram observadas com a presença de um sensor. Já a indeterminação corresponde ao fato da não obtenção de um resultado fixo para o experimento, como no experimento de Schödinger (gato na caixa), onde não se saberia a reação do gato, nem do comportamento da reação (aspas do aluno).
A19	A diferença entre ambas, de um modo geral, soa de maneira simples, mas não é na prática. Ser incerto é quando a certeza de algo é escassa; já a indeterminação é quando não conseguimos concluir algo. Após estudar a física quântica, notei que ambas podem andar lado a lado nos assombrando.

Tabela 6: Dados pós-teste

Ainda que a atividade tenha sido positiva em permitir que os alunos buscassem correlacionar a indeterminação com uma propriedade ontológica, o que consideramos positivo quando os alunos utilizavam expressões contendo o verbo “ser”, ou ainda buscando caracterizar a natureza do objeto em questão, casos em que houve inversão entre os conceitos ou mesmo conceptualização de indeterminação como incerteza ainda foram encontrados, denotando a dificuldade do tema para a compreensão dos alunos, mesmo após a utilização de um objeto de aprendizagem materialmente palpável. Tal aspecto é verificável nas respostas de A13:

13	Incerteza: foi chegado a um resultado, porém não foi entendido ou compreendido, ou seja, não obtém-se uma certeza; Indeterminado: quando há uma variação no resultado, não podendo determinar.
----	---

Tabela 7: Dados pós-teste

Como verificável junto às respostas anteriores, o conceito de incerteza sempre se relaciona à possibilidade da exatidão de um resultado, sendo possíveis mais de um correto, com ênfase na ideia de que o resultado é possível, determinável e compreensível, ainda que admita variabilidade.

Os resultados encontrados denotam que a atividade mediadora e sua discussão, ainda que não completamente eficientes, foram capazes de ajudar os alunos a atribuir à indeterminação características ontológicas em um número considerável em relação à amostra anterior à exposição dos alunos a tal recurso didático.

Impassíveis de generalização, uma vez que esta se apresenta como uma pesquisa qualitativa, cujo objetivo é o estudo do processo e de seu contexto, além do baixo número de indivíduos envolvidos, os resultados ainda assim apontam para a pertinência da introdução de recursos didáticos que visem a discussão de aspectos filosóficos concernentes aos conceitos de mecânica quântica.

## Algumas considerações finais

Como colocado anteriormente, a discussão de tópicos de física contemporânea se mostra cada vez mais pertinente para a compreensão do mundo atual. Além disso, o estudo de conceitos de MQ impõe uma reflexão quanto às limitações do alcance do conhecimento científico do mundo. Para tal, é necessária a compreensão do desafio filosófico que os conceitos quânticos impõem, assim como a dicotômica natureza das entidades envolvidas.

Neste contexto, um aspecto importante a ser discutido em relação aos resultados é que a plena consciência na distinção entre indeterminação e incerteza reside na classificação filosófica destes conceitos a partir de sua correlação com limitações ontológicas e epistemológicas. É possível ainda que as associações entre indeterminação e incerteza venham a ocorrer em virtude da falta de esclarecimento de que toda epistemologia reside em uma ontologia, de tal forma que o conhecimento sobre determinadas entidades só é possível desde que sua natureza seja compreendida. Este é um aspecto importante no estudo de conceitos de MQ, uma vez que o experimento da dupla fenda, o interferômetro de Mach-Zehnder entre outros experimentos, trouxeram à tona a necessidade da discussão de tais aspectos em virtude do dualismo onda-partícula (dualismo ontológico), evidente nos resultados obtidos, que revelaram dificuldades na compreensão (limitações epistemológicas) dos mesmos.

De forma geral, a discussão das limitações ontológicas e epistemológicas que incorrem na indeterminação e incerteza sobre os resultados advindos da teoria quântica é um importante passo para um melhor compreensão dos desafios impostos pela compreensão do mundo em nível quântico, e a atividade mediadora utilizada mostrou-se produtiva neste aspecto, uma vez que os dados mostram que os alunos envolvidos procuram ampliar as diferenças entre incerteza e indeterminação, assim como associar características ontológicas à segunda em virtude do tipo de desafio imposto pela atividade proposta.

## Referências

- ANDRÉ, M. E. D. A. **Estudo de caso em pesquisa e avaliação educacional**. Brasília: Líber Livro, 2005. (Série Pesquisa, v. 13)
- ANDRÉ, M. E. D. A.; LUDKE, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo, E.P.U., 1986. 99p.
- BROCKINGTON, G. A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para alunos do Ensino Médio. **Dissertação de mestrado**. IF/FE-USP, São Paulo, 2005.
- CHIBENI, S. S. Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v.27, 1.2, p. 181-192, 2005
- FISCHLER, H., LICHTFELDT, M. **Modern physics and students' conceptions**. International Journal of Science Education, London, v. 14, n. 2, p. 181-190, Apr./June 1992.
- OSTERMANN, F. et al. **Fundamentos de Física Quântica à luz de um interferômetro virtual Mach-Zehnder**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, vol. 8, nº 3. 2009 (p. 1094-1116)

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio"**. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, jan. 2000.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. **Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente**. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p.393-420, 2009

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. **Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 3, pp. 624-652, dez. 2011.

SUART JR, J. B.; ZULIANI, S. R. Q. A.; CARNEIRO, M. C. **Metafísica e teoria do conhecimento: pressupostos epistemológicos de licenciandos em Física e Química acerca do Método Científico**. Anais **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindoia – SP, 2013.

SILVEIRA, F. L. **Determinismo, previsibilidade e caos**. Cad. Cat. Ens. Fís., v. 10, n. 2, p. 137-147, 1993.