

# UM ESTUDO SOBRE A CAPTAÇÃO DO SIGNIFICADO DO CONCEITO DE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA POR ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

CABRAL DE PAULO<sup>1</sup>, IRAMAIA JORGE e MOREIRA<sup>2</sup>, MARCO ANTONIO

<sup>1</sup> Depto. de Física/ICET. Universidade Federal de Mato Grosso <ira@cpd.ufmt.br>

<sup>2</sup> Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul <moreira@if.ufrgs.br>

---

**Palavras chave:** Ensino; Mecânica quântica; Aprendizagem significativa crítica.

## OBJETIVOS

Muitos dos avanços tecnológicos que permeiam a sociedade contemporânea são proporcionados pelo conhecimento que se desenvolveu a partir da Mecânica Quântica. Introduzir o estudo da teoria quântica, cada vez mais cedo, a partir dos conceitos fundamentais parece ser o caminho natural do ensino de ciências que deve contemplar a formação dos jovens aprendizes. Nesse sentido, a construção do conceito de dualidade/onda-partícula é importante porque constitui base para construção dos conceitos de complementaridade e não determinismo, proporcionando uma compreensão acerca da natureza da luz a partir dos fótons e do comportamento de elétrons, prótons e demais componentes do modelo atômico desenvolvido pela ciência moderna.

A Mecânica Quântica (MQ) se caracteriza fundamentalmente por atribuir a qualquer partícula individual um aspecto ondulatório e às formas de radiação que conhecemos um aspecto corpuscular. Não deixa de ser, em uma primeira análise, um contra-senso, afirmar que um objeto ou entidade física possa apresentar, concomitantemente, aspectos de onda e partícula, algo que se apresente como ser indivisível e divisível, apresentar uma trajetória e espalhar-se. A MQ, de alguma maneira concilia esses aspectos classicamente contraditórios, na tentativa de descrever o comportamento de entidades ou objetos quânticos em situações teóricas e experimentais.

O objetivo deste trabalho é investigar a possibilidade da captação do significado do conceito de onda-partícula por alunos do ensino médio, e a compreensão do aspecto dual dos objetos ou entidades quânticas, na perspectiva de uma aprendizagem significativa crítica.

Os instrumentos utilizados na avaliação da aprendizagem dos alunos foram avaliações escritas com questões objetivas, questões abertas e mapas conceituais. Os dados obtidos foram analisados através de escalas de atitudes. Os resultados decorrentes a serem aqui apresentados são parciais.

Resultados experimentais disponíveis na literatura identificam problemas no que diz respeito a conflitos de conceitos quânticos com representações construídas classicamente, tais como aquelas sobre a natureza da luz e do átomo (de Paulo *et al.*, 1997). Contudo, uma das maiores dificuldades parece ser de caráter filosófico: não existe consenso, na literatura, sobre qual base filosófica a Mecânica Quântica deve ser interpretada.

Sabemos, portanto, que o conceito de onda-partícula resulta em algo complexo, que foge ao escopo conceitual ao qual estamos acostumados. Trata-se de compreender algo que apresenta aspectos que são mutuamente excludentes, mas que se apresentam como características complementares de uma mesma entidade física. Ressalta-se aqui a limitação fundamental em nossas expressões de linguagem, na maneira como vemos, internalizamos e representamos o mundo, quer verbalmente, proposicionalmente e/ou pictoricamente.

## MARCO TEÓRICO E METODOLÓGICO

O caminho teórico que buscamos para o desenvolvimento do tema em sala de aula foi o da Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira, 2000). Sua proposta subjacente ao conceito de ensino subversivo de Postman e Weingartner enfatiza que a motivação para aprender não se dá apenas no sentido de propor estratégias e recursos didáticos e sugere que o importante também é que o aluno perceba como relevante o novo conhecimento a ser construído e produzido utilizando criticamente de maneira substantiva e não arbitrária os seus subsunçores, “desaprendendo-os” (no sentido de não utilizar) se necessário. Utilizamos também a idéia de captação do significado (Gowin, 1981) como condição prévia à aprendizagem significativa.

O método utilizado neste trabalho para a análise de dados sobre as concepções dos aprendizes é a técnica da “medida de atitudes”.

A escala de atitudes é uma espécie de eixo cujas diferentes graduações correspondem a diferentes opiniões (ou atos) a respeito de um dado assunto. Segundo Osgood, Suci e Tannenbaum (Summer, 1986, p.277), tal eixo corresponde a uma direção específica em um espaço semântico multidimensional, que se constitui no **significado** de um conceito - seria, portanto, uma direção monodimensional em um espaço semântico multidimensional (Summer, 1986, p.280). Por exemplo, tomemos o conceito de dualidade na Mecânica Quântica. O eixo correspondente ao significado desse conceito seria uma espécie de reta ligando dois extremos: a concepção de que a luz, por exemplo, é constituída por ondas e de que ela é constituída por partículas.



Tal escala pode ser construída de tal forma que o valor  $-1$  de dualidade represente a concepção de que a luz é constituída por ondas, enquanto que o valor  $+1$ , que é constituída por partículas. O ponto intermediário representaria propriamente uma visão de que os dois aspectos podem coexistir.

A montagem da escala, no entanto, não deve ser feita de forma arbitrária, mas experimentalmente, com base na manifestação de atos e/ou opiniões. Thurstone (Summer, 1986, p.164) sugere que se faça um levantamento das diferentes opiniões manifestas sobre um dado eixo (assunto) e, a partir daí, construir a escala.

## DESENVOLVIMENTO DO TEMA

Este trabalho foi realizado em duas etapas, em duas escolas do ensino médio em Cuiabá, Brasil:

A primeira etapa ocorreu em 2001, envolvendo cerca de 80 alunos, em 3 aulas semanais. A faixa etária média dos alunos era de 15 anos. Na época, um dos autores desse trabalho atuava como professor de Física da escola e pode desenvolver uma pesquisa onde houve um contato de longa duração entre professor e aprendizes – um pré-requisito importante para criar condições de ocorrência da aprendizagem significativa (Novak, 1984; Moreira e Masini, 1982).

O tópico “Experimento de Dupla Fenda (EDF) e suas implicações filosóficas” foi incluído oficialmente no

planejamento pedagógico anual da disciplina Física para a primeira série do ensino médio. Tal tópico foi trabalhado, com a dinâmica de leitura prévia por grupos e releitura com a participação de todos e discussão de cada parágrafo, o que acabou tornando-se um processo de reflexão filosófica, onde questões políticas, éticas, familiares eram constantemente trazidas à tona pelos próprios alunos.

Anteriormente à abordagem desse tópico, *foram ministradas aulas sobre mecânica ondulatória* – que já fazia parte do currículo tradicional da escola – contudo, foi dada ênfase aos fenômenos de difração, interferência, construção histórica dos modelos sobre a natureza da luz, espectro eletromagnético e o EDF (nessa seqüência). Levando-se em conta questões epistemológicas relativas à construção da concepção científica sobre a natureza da luz, optou-se pela utilização da seqüência de tópicos acima descrita, antes do EDF. Em trabalhos anteriores (de Paulo *et al.*, 1997), constatou-se que o ensino tradicional de Óptica pode reforçar a concepção da luz como raios, concepção essa bastante distante da visão quântica. Neste, a discussão sobre as propriedades ondulatórias da luz e, sobretudo, da construção histórica dos modelos sobre a luz (onde houve uma alternância de modelos de luz como onda e como partícula), teve como objetivo facilitar a captação do significado do conceito de dualidade onda-partícula.

Outro aspecto relevante foi a discussão com os alunos de que os instrumentos que a ciência utiliza para perceber a realidade física não permitem a descrição do todo e que os nossos instrumentos para detectar e medir a realidade quotidiana também não caracterizam todos os aspectos de um acontecimento. Um aspecto discutido foi a filosofia cartesiana sob a qual a ciência se estabeleceu até o século XIX e que ainda é predominante na leitura que temos do mundo, mesmo na Física Moderna.

A segunda etapa ocorreu em 2003, quando refizemos a experiência descrita anteriormente, em outra escola, envolvendo cerca de 60 alunos.

Nesse ano letivo, *não foram ministradas, anteriormente ao tópico em estudo, aulas acerca da mecânica ondulatória*. Fizemos uma “troca” na ordem dos conteúdos, com o objetivo de observar possível efeito do conhecimento prévio como facilitador ou impeditivo na construção do conceito de dualidade. A pergunta a ser respondida era: a ondulatória clássica constitui um obstáculo epistemológico para a captação do significado do modelo onda-partícula?

Uma análise de questões subjetivas (discussões) referentes a esse assunto, nas duas escolas investigadas, apontou para categorias que variam entre a luz puramente como partícula até a luz puramente como onda (as duas concepções históricas clássicas), passando pela concepção quântica da luz como onda-partícula. Nesse caso, **percebe-se uma graduação das respostas dentro de uma única dimensão**, possibilitando a construção de uma escala de atitudes tal como proposta por Osgood et al. (Summer, 1986). Considerando essa escala, cinco diferentes categorias foram identificadas:

a) **Luz como partículas:** A luz é identificada apenas como um feixe de partículas. A essa categoria atribuiu-se o valor -1.

b) **Partículas com movimento ondulatório ou partículas com propriedade de onda:** Há uma espécie de predominância do caráter corpuscular. Os aprendizes parecem acreditar que a luz é constituída por partículas, mas essas guardam alguma propriedade ondulatória, como, por exemplo, partículas com um movimento ondulatório. A essa categoria atribuiu-se o valor -0,5.

c) **Onda-partícula:** Trata-se das respostas mais próximas da Teoria Quântica e da Interpretação de Copenhagen, que aceita a complementaridade entre os dois aspectos. A essa categoria atribuiu-se o valor 0.

d) **Ondas com comportamento de partícula:** Corresponde ao oposto do item b. A luz seria constituída por ondas, mas com algumas propriedades de partícula. A essa categoria atribuiu-se o valor +0,5.

e) **Luz como ondas:** A luz é identificada simplesmente como uma onda. A essa categoria atribuiu-se o valor +1.

Uma vez identificadas as categorias, foi montada uma questão objetiva (incluída em uma das avaliações da disciplina) com itens correspondentes às mesmas. Assim sendo, obteve-se um espectro de respostas para os aprendizes das duas escolas, que é apresentado na Figura 1 e na Tabela I:

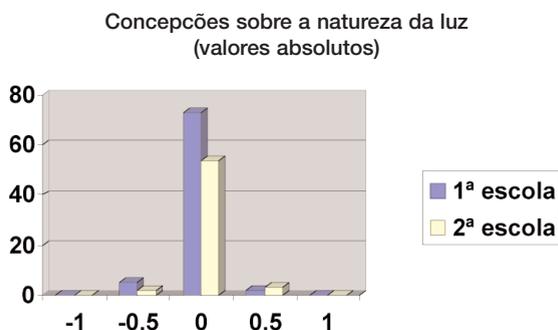


FIGURA 1

Número de ocorrências de diferentes concepções sobre a natureza da luz, observado nas duas turmas investigadas.

TABELA I

Número de ocorrências e descrição de cada concepção sobre a natureza da luz nas duas escolas investigadas.

Escala	Concepção	Nº de respostas (1ª escola)	Nº de respostas (2ª. escola)
-1	Partícula	0	
-0.5	Partículas com movimento ondulatório/ Partículas com propriedades de onda	5	2
0	Onda-partícula	73	54
0.5	Ondas com comportamento de partículas	2	3
1	Onda	0	0

Aparentemente, a metodologia didática utilizada foi eficiente para permitir junto aos aprendizes a captação de uma noção científica de dualidade onda-partícula, pois essa é a concepção majoritária que apareceu frente à questão objetiva. Após as aulas sobre o assunto, as concepções de luz simplesmente como onda ou como partícula parecem ser pouco utilizadas. Outro fato que pode ser observado é que não houve diferença estatisticamente significativa na distribuição de respostas de uma escola para outra. O teste do chi-quadrado resulta em um valor de 0,637 ( $p < 65\%$ ) para o chi-quadrado reduzido, o qual, para um caso de 5 categorias, leva à conclusão de que não há diferença estatisticamente significativa entre as frequências relativas às duas turmas. Este fato sugere uma possível não influência, nesse estudo, da apresentação da mecânica ondulatória clássica antes da abordagem de aspectos quânticos.

## CONCLUSÃO

As evidências obtidas neste estudo sugerem que os alunos captaram o significado do conceito de dualidade onda-partícula. A captação de significados é, na visão de Gowin, a qual compartilhamos, pré-requisito para a aprendizagem significativa. A negociação de significados entre professor e aluno vai até o ponto em que o significado que o aluno capta é aquele que o professor queria que ele captasse e que é o significado aceito no contexto da matéria de ensino.

Ao dizermos que as evidências deste estudo indicam que houve captação de significados, estamos nos baseando também nas discussões em sala de aula, nas respostas a questões abertas propostas nas avaliações e nos mapas conceituais elaborados em classe. Face à exigüidade do espaço disponível para esta comunicação optamos por aludir apenas à questão que gerou as categorias de análise e a escala usada. Nesses outros registros constatamos que os alunos passaram a dar o significado de onda-partícula não só a luz, mas também prótons, nêutrons e elétrons, por exemplo.

Destaque-se aqui que não estamos sugerindo que houve aprendizagem significativa do conceito de dualidade onda-partícula. Estamos apenas argumentando que os alunos parecem ter captado o significado desse conceito. Se assim for, eles poderão aprendê-lo de maneira significativa se decidirem incorporá-lo a sua estrutura cognitiva através da interação não-arbitrária e não-litera, de seu conhecimento prévio com o novo conhecimento. Além disso, se aprenderem como um modelo metafórico, a aprendizagem, provavelmente, será significativa crítica.

Por outro lado, os resultados obtidos parecem indicar que o fato de os alunos terem tido, ou não, aulas de mecânica ondulatória antes de serem introduzidos aos conceitos quânticos, não influenciou a captação de significados. Ou seja, os resultados foram bastante similares com e sem o tratamento clássico prévio. Este tratamento parece não ter funcionado como obstáculo epistemológico ou os alunos foram capazes de não usá-lo, o que seria também evidência de aprendizagem significativa crítica (princípio da desaprendizagem).

É claro que nossos resultados carecem de colaborações adicionais e nossas conclusões são ainda especulativas. Mas já estamos trabalhando nesse sentido: registros de três outros grupos de estudantes de ensino médio estão sendo avaliados.

Mesmo assim, acreditamos que os resultados iniciais aqui apresentados já têm o mérito de mostrar que a abordagem de conceitos quânticos no ensino médio é plenamente viável. E muito necessária se queremos atualizar, revitalizar, resgatar a Física no ensino médio.

## REFERÊNCIAS

- GOWIN, D.B. (1981) – *Educating* – Cornell University Press – Ithacam N.Y.
- de PAULO, I. J. C., DE PAULO, S. R. & RINALDI, C. (1997). Um Estudo sobre a Origem e Desenvolvimento de Concepções Alternativas sobre a Natureza da Luz ao longo da Escolarização a Nível Médio e Fundamental. In: *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, 273-279 p.
- MOREIRA, M. A. (2000). Aprendizagem Significativa Subversiva. In: *Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, 47-67 p.
- NOVAK, J. D. (1984). *Aprender a Aprender*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- SUMMER, G. F. (1986). *Medición de Actitudes*. Ciudad de México: Editorial Trillas.