MECÂNICA QUÂNTICA: UMA PROPOSTA DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO

AUGUSTO CÉSAR LIMA MOREIRA*

RODRIGO PRAZERES DE HOLANDA

ERICK CORDEIRO DA SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA EXATAS E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (NICIT)

*** aclm@df.ufpe.br**

1. INTRODUÇÃO

Pouco difundida no ensino básico, a Física Quântica é vista muitas vezes como um campo de estudo longínquo e desnecessário (Santos 2007) para os padrões nos quais os estudantes nesta etapa de formação são regularmente exigidos. Dentre os vários fatores, pode-se citar como causa desse distanciamento: lacunas conceituais na formação do professor, a não inserção de tais conteúdos nos exames vestibulares aos quais os estudantes são submetidos e a falta de modelos teóricos (Bunge 1974) que permitam que a Teoria Quântica, intangíveis aos sentidos, possa ser traduzida e retratada em uma linguagem (matematicamente) acessível.

Apesar das limitações conceituais dos estudantes da educação básica, alguns conceitos tratados na Física Quântica podem ser por eles assimilados desde que ferramentas matemáticas adequadas, juntamente com um modelo análogo, lhes permitam uma ponte para a idealização do mundo quântico.

O trabalho a seguir versa sobre uma proposta de transposição didática (Pietrocola 2001) de conceitos relacionados à Teoria Quântica , tendo como ponto de partida um modelo análogo construído com materiais de baixo custo. Conforme mostraremos adiante, fazendo-se uso dos conceitos de probabilidade e freqüência relativa de possíveis ‘estados’ do sistema, como ponto de partida, podemos construir um material concomitantemente, lúdico e potencialmente significativo (Moreira 2011) para se abordar a Teoria Quântica. Ressalta-se que por se tratar de um trabalho em andamento, o focaremos na confecção material deixando por hora, uma descrição mais aprofundada sobre ensino com analogias bem como o detalhamento dos resultados obtidos como perspectivas.

2. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Para a realização dos procedimentos, necessitou-se confeccionar um kit para testes de probabilidade, o qual dispunha de:

- Caixinha de papelão de comprimento, largura e altura: 14,5 cm x 4,5 cm x 4,0 cm com uma das faces aberta (recortada).
- Grãos-de-bico.
- Placa de vidro de comprimento, largura e espessura: 35 cm x 25 cm x 3 mm.
- Uma folha de papel oficio A4.
- Fita adesiva.

Para confeccionar a superfície de movimentação da caixinha, recortaram-se três pedaços retangulares de papel com as dimensões da própria caixinha e neles foram feitas (à caneta) as divisões mostradas na Figura 1.

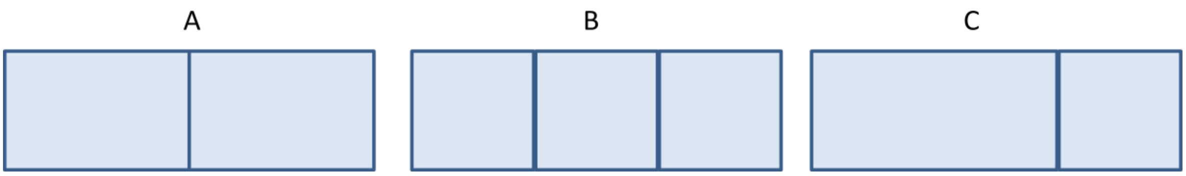

Figura 1: Recorte da base utilizada na confecção do sistema análogo.

Em seguida, esses papeis foram fixados em uma das faces do vidro de modo que suas demarcações pudessem ser vistas do outro lado conforme mostra a Figura 2.

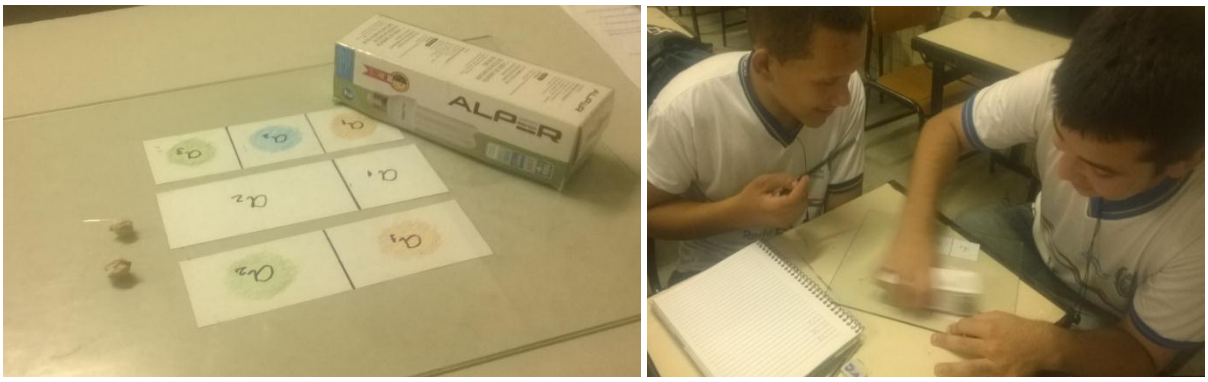

Figura 2: Esquerda: imagem do modelo análogo utilizado no procedimento. Direita: estudantes realizando as 'medidas' que constam na Tabela 1.

O procedimento se resumiu em usar a caixinha para sortear repetidas vezes a posição em que o grão-de-bico se encontraria em cada um dos papeis para, a partir daí, se obter dados para o cálculo das probabilidades. Para executar os testes, posicionava-se um grão no centro da área de um dos papéis cobrindo-o com a caixinha que, em seguida, era agitada rapidamente durante alguns segundos. Essa agitação deveria cessar com a caixinha exatamente sobre o papel. Logo em seguida a mesma era erguida para que se observasse em qual posição o grão 'colapsava', ou seja, em que parte da superfície o grão se encontrava. Diversos modelos de superfície foram confeccionados conforme mostrado na Figura 3. Cada modelo, corresponde à uma sistuações com diferentes probabilidades de encontrarmos o grão. Dessa forma, como veremos adiante, para cada sistema, diversos 'estados do sistema' podem ser encontrados cada qual com sua respectiva probabilidade.

MODELO 1	1 | 0	0 | 1		
MODELO 2	1 | 0 | 0	0 | 1 | 0	0 | 0 | 1	
MODELO 3	1 | 0	0 | 1		
MODELO 4	1a , 1b | 0	0 | 1a , 1b	1a | 1b	1b | 1a
MODELO 5	2 | 0	0 | 2	1 | 1	
MODELO 6	1a , 1b | 0	0 | 1a , 1b	1a | 1b	1b | 1a
MODELO 7	2 | 0	0 | 2	1 | 1	

Figura 3: Modelos de sistemas utilizados para se construir a Tabela 1. Do Modelo 4 em diante, temos duas partículas distinguíveis (Modelos 4 e 6) e indistinguíveis (Modelos 5 e 7).

3. BREVE COMENTÁRIO ACERCA DOS MODELOS:

Modelo 1: Para o primeiro modelo de papel demarcado tem-se uma probabilidade de 1/2 para que o grão “caia” na primeira casa e a mesma probabilidade para que “caia” na segunda,configurandoi assim, dois estados possíveis.

Modelo 2: Utilizando o segundo modelo de papel, com três casas demarcadas, a probabilidade para cada estado passa a ser 1/3.

Modelo 3: Por fim, o terceiro modelo de papel demarcado indicava a segunda casa com o dobro da área da primeira, possibilitando situações onde as chances do grão ser sorteado para a segunda casa são duas vezes maior que para a primeira. Assim, tem-se uma probabilidade de 1/3 para o primeiro estado e 2/3 para o segundo.

Modelo 4: Após coletar dados referentes aos três tipos de papeis demarcados, refez-se os mesmos procedimentos com o acréscimo de mais um grão, sendo este pintado de azul (grão **1a**) para que fosse diferenciado/distinguido do grão já existente (grão **1b**). Sendo cada casa com a mesma área, constata-se uma probabilidade de 1/4 para que ocorra cada uma dessas situações.

Modelo 5: Trabalhou-se a situação anterior, só que agora, com dois grãos indistinguíveis para duas casas de mesmo tamanho. Percebe-se que, como não se distingue os grãos, a probababilidade de ocorrer a terceira situação é 1/2, ou seja, a soma das probabilidades das duas últimas situações do Modelo 4 uma vez que agora, ambos os estados são equivalentes (estados degenerados). A primeira ou segunda situação possuem probabilidade de ocorrer em 1/4.

Modelo 6: Acentuando um pouco mais a complexidade do problema, partiu-se para o terceiro modelo de papel, onde a segunda casa é duas vezes maior que a primeira. Assim, com dois grãos distinguíveis, encontra-se 1/9 de chance de ocorrer a primeira situação, ou seja, de se encontrar os dois grãos juntos na ‘casa menor’. Já para os dois grãos ao mesmo tempo na casa maior, essa probabilidade aumenta para 4/9. A terceira e quarta situações, com um grão em cada casa, apresentam a mesma possibilidade de ocorrer, com uma probabilidade de 2/9 de chance para cada.

Modelo 7: Para a segunda casa com tamanho duas vezes maior que a primeira e dois grãos indistinguíveis as possibilidades são analogas ao teste anterior, novamente (ver Modelo 5), com a diferença de que a terceira situação acima tem sua probabilidade dada pela soma das probabilidades das duas últimas situações que é igual a 4/9. A primeira situação tem probabilidade de ocorre em 1/9 e a segunda, em 4/9.

Os testes realizados com grãos de cores diferentes, embora aprimorem a habilidade do estudante em realizar cálculos probabilísticos, não satisfazem um modelo quântico para dois elétrons, visto que ambos são indistinguíveis (Griffiths 2011). Para a teoria quântica manter sua essência de permitir calcular apenas grandezas observáveis, dois estados fisicamente indistinguíveis devem ser tratados como um único estado. Logo, nos testes 5 e 7, as duas últimas situações, com um grão em cada casa, retratam dois estados degenerados.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A atividade descrita na seção anterior foi proposta para um grupo-teste contendo seis estudantes distribuídos em três duplas. De posse do *kit* de testes, executaram para um desses modelos, 100 sorteios, com o intuito de obterem-se as freqüências relativas e compará-las com as probabilidades teóricas. A tabela 1 apresenta o resultado dos testes realizados. Percebe-se que, apesar do *kit* utilizado para essa prática ser um tanto rudimentar, os valores obtidos para as freqüências relativas apresentam uma considerável tendência para as probabilidades teóricas, chegando em algumas situações a se igualar (Modelo 1). Em posse dos resultados, foi possível comprovar junto aos estudantes a tendência da freqüência relativa se aproximar do valor da probabilidade teórica caso se aumente a quantidade de sorteios realizados.

Tabela 1: Possíveis configurações, probabilidades calculadas e freqüências relativas obtidas experimentalmente.

<table>
<tr><th></th><th colspan="4">CONFIGURAÇÃO DO(S) GRÃO(S) NAS CAIXAS</th><th>PROBABILIDADES</th><th>FREQUÊNCIA RELATIVA</th></tr>
<tr><td rowspan="2">MODELO 1</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">0</td><td>1/2</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td colspan="2">0</td><td colspan="2">1</td><td>1/2</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td rowspan="3">MODELO 2</td><td>1</td><td colspan="2">0</td><td>0</td><td>1/3</td><td>0.35</td></tr>
<tr><td>0</td><td colspan="2">1</td><td>0</td><td>1/3</td><td>0.30</td></tr>
<tr><td>0</td><td colspan="2">0</td><td>1</td><td>1/3</td><td>0.35</td></tr>
<tr><td rowspan="2">MODELO 3</td><td>1</td><td colspan="3">0</td><td>1/3</td><td>0.29</td></tr>
<tr><td>0</td><td colspan="3">1</td><td>2/3</td><td>0.71</td></tr>
<tr><td rowspan="3">MODELO 4</td><td colspan="2">1a , 1b</td><td colspan="2">0</td><td>1/4</td><td>0.31</td></tr>
<tr><td colspan="2">0</td><td colspan="2">1a , 1b</td><td>1/4</td><td>0.24</td></tr>
<tr><td colspan="2">1a</td><td colspan="2">1b</td><td>1/4</td><td>0.19</td></tr>
</table>

	1b	1a	1/4	0.26
MODELO 5	2	0	1/4	0.25
	0	2	1/4	0.31
	1	1	2/4	0.44
MODELO 6	1a , 1b	0	1/9	0.13
	0	1a , 1b	4/9	0.49
	1a	1b	2/9	0.20
	1b	1a	2/9	0.18
MODELO 7	2	0	1/9	0.13
	0	2	4/9	0.50
	1	1	4/9	0.37

O próximo passo, consistiu em discutir com os estudantes a existência de uma grandeza (não mensurável) denominada função de onda (Ψ), de suma importância no estudo da mecânica quântica e que pode ser expressa através de uma combinação linear de vetores que formam uma base. Os coeficientes dessa combinação linear foram definidos como sendo a raiz quadrada das probabilidades. Sem perda de generalidade, nos valemos da base canônica (R_2 e R_3) de forma que o estado de um determinado sistema (Modelo), antes de se realizar uma medida, correspondia às quantidades de grãos nas casas de cada situação possível. Como exemplo, escreveram-se na lousa os vetores base do modelo 6 e ao lado suas respectivas probabilidades:

$$v_1 = (1,0,0)\ ,\ P_1 = 1/4\ ;\ v_2 = (0,1,0)\ ,\ P_2 = 1/4;\ v_3 = (0,0,1),\ P_3 = ½ \qquad (1)$$

A partir desses dados, fez-se:

$$\Psi_6 = \sqrt{P_1}\, v_1 + \sqrt{P_2}\, v_2 + \sqrt{P_3}\, v_3 \ \Rightarrow\ \Psi_6 = \frac{1}{2}\,(1,0,0) + \frac{1}{2}\,(0,1,0) + \frac{1}{\sqrt{2}}\,(0,0,1) \qquad (2)$$

De acordo com esse exemplo, propôs-se que os estudantes aplicassem essa idéia para obter a função de onda para os demais modelos, o que feito sem dificuldade. Com esta atividade prática, é possível traçar um paralelo entre o modelo clássico e o modelo quântico, assumindo que grãos movendo-se dentro da caixinha retrata uma versão clássica de elétrons nos átomos de uma molécula. É possível, portanto, fazer (dentre muitas outras) as seguintes analogias:

i) Os grãos são tão semelhantes que torna-se extremamente complicado diferenciá-los, tal como dois elétrons no mesmo sistema são indistinguíveis.

ii) Não há divisórias dentro das caixinhas, o que permite que o(s) grão(s) movimente(m)-se livremente e sejam compartilhados, assim como átomos ligados compartilham elétrons. Desta constatação pode se projetar a idéia de que havendo divisórias na caixinha os grãos não são compartilhados, analogamente a átomos não-ligados, que não compartilham elétrons.

iii) A probabilidade de se encontrar os grãos sobre cada área delimitada no papel, depende do tamanho da área, assim como a probabilidade de se encontrar elétrons em cada um dos átomos ligados em uma molécula depende do “tamanho” do átomo.

iv) A ação de levantar a caixinha e observar a posição do(s) grão(s) define uma medida realizada, o que na mecânica quântica coincide com o colapso da função de onda.

v) As situações de posicionamento do(s) grão(s) em cada modelo definem possíveis estados que podem ser relacionados com vetores de uma base.

vi) As paredes da caixa impedem que os grãos escapem para o exterior, similarmente à um modelo quântico de barreiras de potencial infinito, tal qual uma molécula isolada.

vii) Mexendo-se a caixinha com um ou dois grãos, a chance de que ele(s) se localize(m) sobre o papel é de 100%, ou seja a soma de todas as probabilidades possíveis é igual a 1, assim como a probabilidade de se encontrar elétron(s) confinados em uma molécula.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho, apresentamos uma proposta de transposição didática que, além de desenvolver conceitos básicos relacionados à Teoria Quântica (Griffiths 2011), o faz de forma lúdica. Para isso tomamos como ponto de partida um modelo análogo que, mesmo construído com materiais de baixo custo, superou em muito as expectativas, ao menos para o grupo-teste em questão (composto seis estudantes). Por se tratar de uma metodologia ativa contendo pequenos projetos (Modelos) em tom de desafio, o grau de interesse foi bastante alto. Ressalta-se, novamente, que por se tratar de um trabalho em andamento, o escopo na instrumentação em detrimento de uma descrição mais aprofundada sobre ensino com analogias, correlacionando a mesma com a aprendizagem significativa (Moreira 2011), constitui uma lacuna a ser preenchida. Entretanto, o sucesso obtido até o presente momento, nos leva a crer que a correlação entre analogias e o lúdico podem ser uma alternativa viável para se abordar conceitos abstratos oriundos da física moderna.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

Bunge, M. (1974). Teoria e Realidade. São Paulo, Perspectiva.

Griffiths, D. J. (2011). Mecânica Quântica. São Paulo, Pearson Prentice Hall.

Moreira, M. A. (2011). Aprendizagem Significativa: Teoria e Textos Complementares. São Paulo, Livraria da Física.

Pietrocola, M. (2001). Ensino de Física. Santa Catarina, Editora da UFSC.

Santos, W. L. P. d. (2007). "Contextualização no Ensino de Ciências Por Meio de Temas CTS em uma Perspectiva Crítica " Ciência & Ensino **1**: 12.