WECIQ 2007

2º Workshop-Escola de Computação e Informação Quântica

CAMINHOS QUÂNTICOS PASSANDO POR FENDAS

A. C. Oliveira†, R. Portugal† and R. Donangelo‡

†Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC/MCT
‡Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
email: {amanda, portugal}@lncc.br

Palavras-chave: Caminhos Quânticos - Simulação - Fendas.

Introdução

Caminhos aleatórios clássicos são essenciais para a Ciência da Computação e muitas outras áreas. Eles estão na base de diversos algoritmos clássicos. Há uma grande expectativa de que a sua versão quântica seja ainda mais poderosa. Os resultados existentes até o momento são animadores uma vez que o caminhante quântico, devido às coerências quânticas, se espalha quadraticamente mais rápido que o seu análogo clássico. Há grande interesse em se investigar tanto as suas propriedades físicas quanto as suas possíveis aplicações. Há algumas propriedades que só aparecem em duas ou mais dimensões.

Neste trabalho analisamos o comportamento de caminhantes quânticos passando por uma e duas fendas. Há várias motivações para este estudo. O experimento de fenda dupla de Young provou de forma conclusiva a natureza ondulatória da luz e foi muito empregado por Feynman para ilustrar as diferenças entre os mundos clássico e quântico. Então é natural investigar como os caminhantes quânticos se comportam ao passar por uma ou duas fendas.

Neste trabalho estudamos as propriedades de caminhantes quânticos no plano passando por fendas. Nós usamos o simulador QWalk para investigar o comportamento de uma partícula quântica que passa por uma ou duas fendas. Em um ponto não tão próximo da origem existe uma parede perpendicular aos eixos horizontais com uma ou duas fendas. Bem distante da parede há um anteparo, que está paralelo à parede, que acumula o valor da probabilidade à medida que o caminhante passa por ele. A idéia é que o aparato seja o mais próximo possível do aparato usado na experiência de fenda dupla de Young. Atualmente os experimentos de fenda dupla são construídos de tal forma que passe somente uma partícula por vez provando que a mecânica quântica descreve corretamente o padrão de interferência de uma partícula. Aqui usamos esta mesma estratégia. Nós analisamos o padrão de interferência no anteparo através da evolução de uma única partícula. A partir da análise da distribuição de probabilidade podemos predizer o que aconteceria em um experimento real.

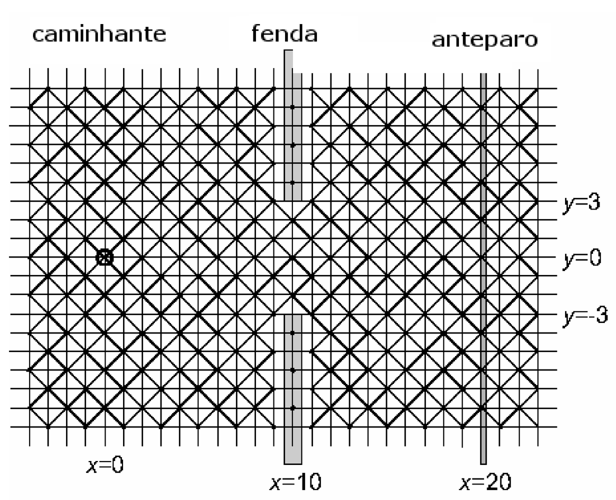

Figura 1: Esquema geral da simulação para uma partícula em uma rede quadrada em $t = 0$. A partícula está na origem $x = y = 0$. Em $x = 10$ há uma uma parede com uma fenda entre $y = -3$ e $y = 3$.O anteparo se encontra em $x = 20$

Caminhos Quânticos passando por uma Fenda

A localização dos mínimos de difração (y_{min}), sobre o anteparo, pode ser determinada através da seguinte equação

$$a \sin\theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, ... \tag{1}$$

onde m é um número inteiro que rotula os mínimos. Da equação anterior obtemos o primeiro ponto de mínima intensidade

$$y_{min} = \frac{\lambda L}{\sqrt{a^2 - \lambda^2}}, \tag{2}$$

onde L é a distância entre a fenda e o anteparo.

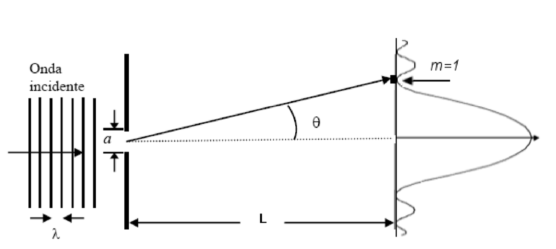

Figura 2: Esquema de difração de fenda única com intensidade da onda difratada.

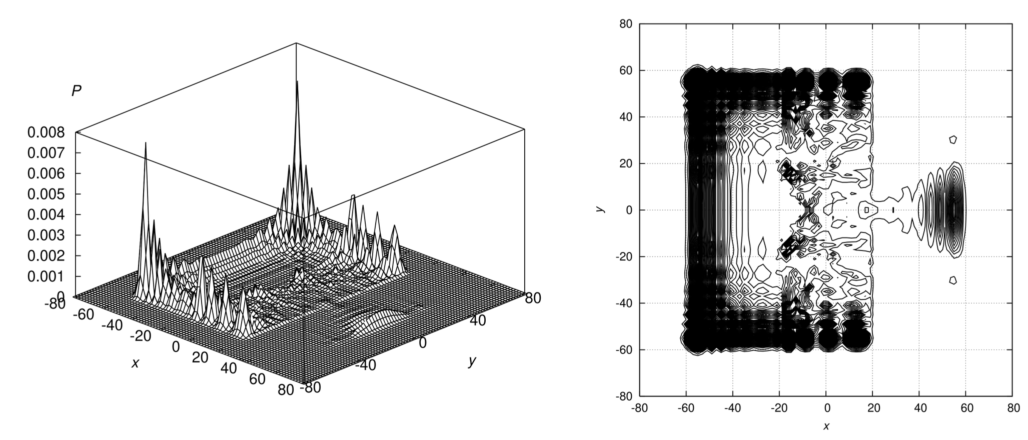

Figura 3: Distribuição de probabilidade para o caminhante de Hadamard em $T = 80$ após passar por uma fenda de largura 5. A parede que contém a fenda está em $x = 20$. A fenda está situada no intervalo $y \in [-4, 4]$.

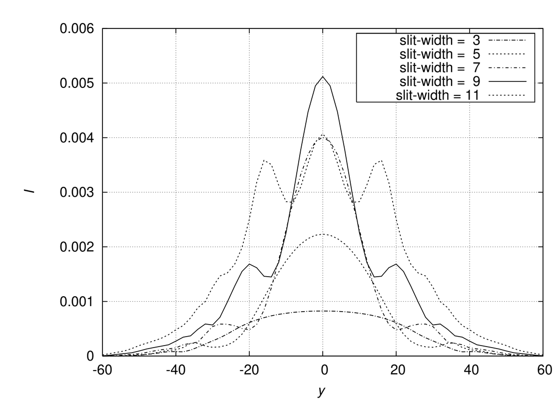

Figura 4: Acumulado da distribuição de probabilidade com a moeda de Hadamard após 100 passos. Para fendas com largura 3, 5, 7, 9 e 11. A fenda está em $x = 20$ e o anteparo em $x = 60$.

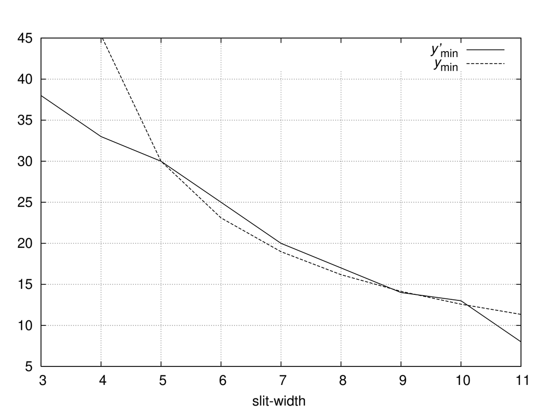

Figura 5: A coordenada do primeiro mínimo (y'_{min}) do caminho de Hadamard em função da largura da fenda. A curva teórica (y_{min}) é usada para a comparação com $\lambda = 3.0$.

Caminhos Quânticos passando por Fenda Dupla

Localização de Young para os mínimos de interferência,

$$d \sin\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad m = 1, 2, ... \tag{3}$$

Desta equação podemos obter as coordenadas do primeiro mínimo de intensidade (y_{min})

$$y_{min} = \frac{\lambda L}{\sqrt{4d^2 - \lambda^2}}, \tag{4}$$

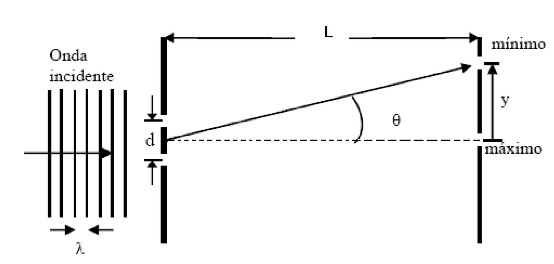

Figura 6: Esquema de interferência e difração numa fenda dupla.

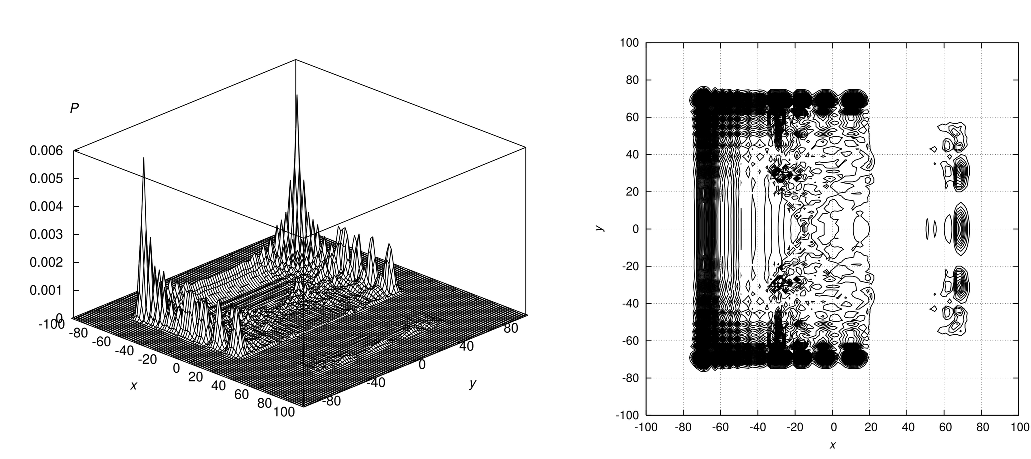

Figura 7: Distribuição de probabilidade para a moeda de Hadamard após 100 passos após passar por duas fendas de largura 1. O centro da fenda superior é $y = 6$ e o da inferior é $y = -6$. A fenda está localizada em $x = 20$. A probabilidade da onda para ($x > 20$) foi aumentada 5 vezes para melhor visualização.

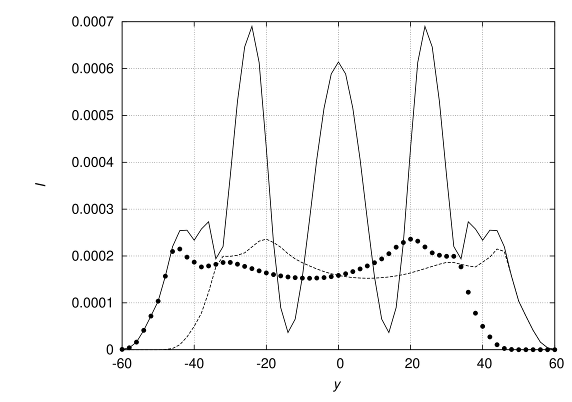

Figura 8: Acumulado da distribuição de probabilidade com a moeda de Hadamard após 100 passos após passar por duas fendas de largura 1. O centro da fenda superior é $y = 6$ e o da inferior é $y = -6$. O anteparo está localizada em $x = 60$.A curva tracejada acontece quando a fenda inferior está fechada e a superior aberta. A curva pontilhada é para o caso inverso.

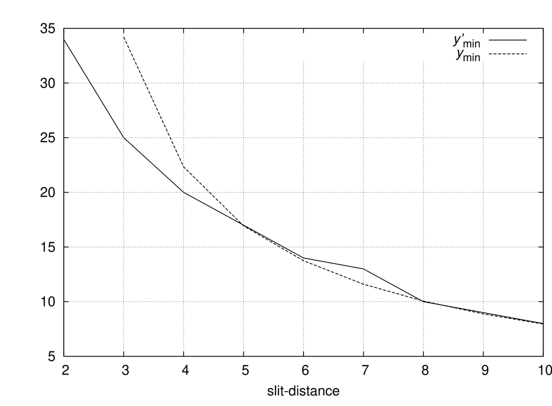

Figura 9: A coordenada do primeiro mínimo (y'_{min}) do caminho de Hadamard em função da largura da fenda. A curva teórica (y_{min}) é usada para a comparação com $\lambda = 3.0$.

Conclusões

Fizemos o estudo dos padrões de interferência e difração da distribuição de probabilidade de caminhantes quânticos passando por uma ou duas fendas usando as moedas de Hadamard, Fourier e Grover com condições iniciais distintas. Pudemos observar que o caminhante quântico ao passar por uma ou duas fendas apresenta o comportamento de interferência e de difração, sendo a moeda de Hadamard a mais interessante para este tipo de análise. Observamos também que a probabilidade nos pontos de mínimo não é nula como ocorre nos experimento padrão de difração. Ao compararmos a posição do primeiro ponto de mínimo em cada um dos dois casos e obtivemos certo acordo com os resultados obtidos experimentalmente para uma e duas fendas.

Referências

[1] Y. Aharonov, L. Davidovich, and N. Zagury, *Phys. Rev. A* **48**, 1687-1690 (1993).

[2] E. Farhi and S. Gutmann, *Phys. Rev. A* **58**, 915-928 (1998).

[3] N. Shenvi, J. Kempe, and K. BirgittaWhaley, *Phys. Rev. A* **67**, 052307 (2003).

[4] A. Ambainis, *Proc. 45th Symp. Found. Comp. Sc.*, IEEE Computer Society Press, pp. 22-31, New York, 2004.

[5] A. Nayak and A. Vishwanath, arXiv:quant-ph/0010117 (2000).

[6] A.C. Oliveira, R. Portugal, and R. Donangelo, *Phys. Rev. A* **74**, 012312 (2006).

[7] A. Romanelli, R. Siri, G. Abal, A. Auyuanet, and R. Donangelo, *Physica A*, **347C**, 137-152 (20056), also in arXiv:quant-ph/0403192.

[8] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, Pergamon Press, Oxford, 1980.

[9] R.P. Feynman, R.B. Leighton, and M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 3, Addison-Wesley, Boston, 1965.

[10] Č. Brukner and A. Zeilinger, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* **360**, 1061 (2002), e-print arXiv:quant-ph/0201026.

CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

LNCC www.lncc.br Laboratório Nacional de Computação Científica

FAPERJ