

Representação de Cores RGB como Estados Quânticos na Esfera de Bloch

Beatriz Silva Sousa e Gisele Bosso de Freitas

Resumo—A computação quântica apresenta desafios conceituais e matemáticos para estudantes iniciantes, especialmente quanto à compreensão de estados quânticos como vetores e da superposição. Este trabalho propõe uma abordagem didática baseada na analogia entre o sistema de cores RGB, representado no espaço \mathbb{R}^3 , e os estados de qubits. Explora-se a combinação linear de vetores de cores para ilustrar a formação de estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$ em superposição. Os resultados incluem a criação de um roteiro de atividade e a visualização de estados quânticos com ferramentas computacionais. Conclui-se que a analogia com cores facilita o aprendizado inicial em computação quântica.

Palavras-Chave—Computação Quântica; Ensino de Física; Representação Vetorial; Qiskit.

Abstract—Quantum computing presents conceptual and mathematical challenges for beginner students, especially regarding the understanding of quantum states as vectors and the idea of superposition. This work proposes a didactic approach based on the analogy between the RGB color system, represented in \mathbb{R}^3 , and the states of qubits. The linear combination of color vectors is explored to illustrate the formation of superposition states from $|0\rangle$ and $|1\rangle$. The results include the creation of an activity script and the visualization of quantum states using computational tools. It is concluded that the color analogy facilitates introductory learning in quantum computing.

Keywords—Quantum Computing; Physics Education; Vector Representation; Qiskit.

I. INTRODUÇÃO

A computação quântica vem se consolidando como uma área estratégica para o desenvolvimento tecnológico e científico, exigindo metodologias didáticas inovadoras que aproximem estudantes de seus conceitos fundamentais [1]. Entretanto, a abstração matemática envolvida e os princípios da mecânica quântica — como superposição, entrelaçamento e representação vetorial de estados — frequentemente dificultam a compreensão inicial de estudantes de graduação e do ensino médio [2], [3].

Nesse contexto, o uso de analogias didáticas tem sido reconhecido como uma ferramenta pedagógica relevante no ensino de ciências, especialmente em conteúdos de alta abstração conceitual [4]. De acordo com pesquisas na área de ensino de física, analogias favorecem a construção de pontes cognitivas entre conhecimentos prévios dos estudantes e novos conceitos científicos, promovendo uma aprendizagem mais significativa e intuitiva. Exemplos incluem analogias entre a polarização da

Beatriz Silva Sousa Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas - CCENT, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, Imperatriz-MA, e-mail: beatriz.sousa@uemasul.edu.br; Gisele Bosso de Freitas, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas - CCENT, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, Imperatriz-MA, e-mail: giselebosso@uemasul.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela UEMASUL.

luz e estados de qubits, ou ainda entre moedas em rotação e superposição quântica [5].

Este trabalho insere-se nesse campo ao propor uma analogia entre o modelo de cores RGB, amplamente conhecido no cotidiano por meio de computadores e dispositivos digitais, e a representação de estados quânticos de um qubit na esfera de Bloch. A familiaridade dos estudantes com o sistema RGB, em que diferentes intensidades de vermelho, verde e azul se combinam para formar uma ampla gama de cores, pode servir como uma porta de entrada para compreender a ideia de estados em superposição. Assim como uma cor pode ser decomposta em três componentes básicas, um qubit pode ser descrito como uma combinação linear dos estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$, com diferentes amplitudes e fases representadas geometricamente na esfera de Bloch [7].

Ao articular um modelo visual cotidiano (RGB) com a formalização matemática da física quântica, a proposta busca contribuir para o campo de ensino e divulgação em computação quântica, oferecendo uma abordagem intuitiva, visual e acessível. Além disso, a utilização de ferramentas computacionais como o Qiskit potencializa a interação dos estudantes com a construção e visualização de estados quânticos, reforçando o caráter prático da analogia e seu potencial para futuras aplicações educacionais.

II. METODOLOGIA

O procedimento metodológico iniciou-se com a definição de um conjunto de cores de referência no modelo RGB, incluindo os vértices do cubo tridimensional (cores primárias e suas combinações) e algumas tonalidades intermediárias. Cada cor, originalmente representada por valores inteiros de vermelho (R), verde (G) e azul (B) no intervalo $[0, 255]$, foi inicialmente normalizada para o intervalo $[0, 1]$. Em seguida, aplicou-se uma transformação linear para mapear os valores para o intervalo $[-1, 1]$, obtendo vetores compatíveis com a representação cartesiana da esfera de Bloch (Figura 1).

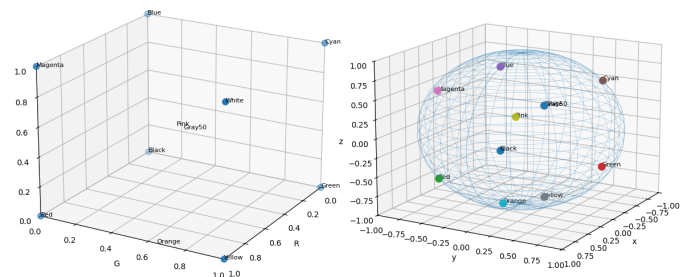


Fig. 1. Representações compatíveis do modelo RGB normalizado em coordenadas cartesianas e esféricas.

Esses vetores foram normalizados para módulo unitário, permitindo sua interpretação como estados qubit $|\psi\rangle$. A partir das coordenadas (x, y, z) obtidas, calcularam-se os ângulos polares θ e ϕ segundo as relações:

$$\theta = \arccos(z), \quad \phi = \arctan 2(y, x),$$

com θ e ϕ expressos em graus para fins de apresentação. Em seguida, cada estado foi expresso na forma canônica:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle,$$

em que

$$\alpha = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \text{e} \quad \beta = e^{i\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

são as amplitudes complexas.

Com base nesses parâmetros, foram preparados circuitos quânticos de um único qubit utilizando a operação $u(\theta, \phi, 0)$ da biblioteca Qiskit, que prepara o estado diretamente a partir dos ângulos calculados. Para cada cor, foram salvos: (i) a imagem do circuito correspondente e (ii) a visualização do estado na esfera de Bloch por meio da função `plot_bloch_multivector`.

Por fim, elaborou-se um script Python que integra todas as etapas — do mapeamento RGB até a geração das representações gráficas — possibilitando a manipulação interativa dos valores de R, G e B e a observação imediata de suas repercussões no estado quântico e na visualização geométrica. Essa abordagem computacional foi concebida para permitir que estudantes explorem conceitos de normalização, superposição e fase de forma intuitiva e visual.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Complementando a análise, foi realizado o mapeamento das cores localizadas nos vértices do cubo RGB e de algumas tonalidades intermediárias para coordenadas da esfera de Bloch, obtendo-se para cada cor os ângulos θ e ϕ e o estado quântico $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. Esse procedimento permitiu gerar automaticamente no Qiskit circuitos do tipo $u(\theta, \phi, 0)$, que preparam o qubit no estado correspondente. A Tabela I apresenta os resultados para onze cores de referência.

TABELA I

PARÂMETROS DE MAPEAMENTO RGB PARA A ESFERA DE BLOCH E ESTADOS QUBIT CORRESPONDENTES.

Cor	θ (°)	ϕ (°)	α	β
Black	125.26	-135.00	0.259+0j	-0.683 - 0.683j
White	54.74	45.00	0.817+0j	0.408+0.408j
Red	125.26	-45.00	0.259+0j	0.683-0.683j
Green	125.26	135.00	0.259+0j	-0.683 + 0.683j
Blue	54.74	-135.00	0.817+0j	-0.408 - 0.408j
Cyan	54.74	135.00	0.817+0j	-0.408 + 0.408j
Magenta	54.74	-45.00	0.817+0j	0.408-0.408j
Yellow	125.26	45.00	0.259+0j	0.683+0.683j
Pink	62.15	26.83	0.789+0j	0.199+0.446j
Orange	133.81	16.39	0.692+0j	0.102+0.346j
Gray50	54.74	45.00	0.817+0j	0.408+0.408j

A Figura 2 ilustra um exemplo de circuitos gerados no Qiskit e sua representação na esfera de Bloch, evidenciando a correspondência direta entre o mapeamento RGB e a preparação

de estados qubit. Esse procedimento reforça o caráter prático da analogia proposta, permitindo que estudantes visualizem e manipulem a relação entre vetores no espaço de cores e estados quânticos.

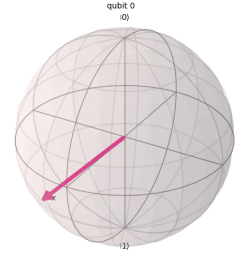


Fig. 2. Cor vermelha na esfera de Bloch para o estado $|0\rangle$ usando a porta $u(\theta, \phi, 0)$, $\theta = 2.19$ e $\phi = -\frac{\pi}{4}$.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma abordagem didática para o ensino de computação quântica, ao estabelecer uma analogia entre o sistema de cores RGB e a representação de estados de qubits na esfera de Bloch. A proposta facilita a compreensão de conceitos abstratos, como superposição e representação vetorial, por meio de elementos visuais familiares e do uso de ferramentas computacionais, como o Qiskit, que permitem visualização e manipulação.

Embora os resultados se concentrem no mapeamento teórico e computacional, o estudo fornece bases para futuras investigações pedagógicas, sugerindo experimentos com estudantes de graduação e ensino médio para avaliar a eficácia da analogia em termos de compreensão, engajamento e comparação com metodologias tradicionais. Assim, representa um passo inicial no desenvolvimento de recursos inovadores para a educação em computação quântica, contribuindo para a formação de profissionais e a disseminação desse conhecimento em diferentes contextos educacionais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UEMASUL pelo apoio financeiro, a Profa. Dra. Gisele Bosso de Freitas e aos colegas da Liga Acadêmica de Computação e Informação Quântica da UEMASUL (LACIUQ) pelas discussões enriquecedoras.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. Nielsen and I. L. Chuang, "Quantum Computation and Quantum Information". Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [2] G. Benenti, G. Casati and G. Strini, Principles of Quantum Computation and Information, vol. I: Basic Concepts. Singapore: World Scientific, 2007.
- [3] H. Anton and C. Rorres, Álgebra Linear com Aplicações, 10ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2012.
- [4] J. Arão, L. Leite, and E. Nhalevilo, "Usando analogias para lecionar sobre o átomo nas aulas de química geral no ensino superior," Química Nova, vol. 45, no. 3, pp. 345–354, 2022.
- [5] N. Didiş, The analysis of analogy use in the teaching of introductory quantum theory, Chemistry Education Research and Practice, Royal Society of Chemistry, vol. 16, no. 2, pp. 355-376, 2015.
- [6] IBM Quantum, "Qiskit Documentation." [Online]. Available: <https://qiskit.org/documentation/>. [Accessed: Aug. 19, 2025].
- [7] P. Hu, Y. Li, R. S. K. Mong, and C. Singh, "Student understanding of the Bloch sphere," European Journal of Physics, vol. 45, no. 3, pp. 035702, Feb. 2024. doi: 10.1088/1361-6404/ad2393