Open Journal of Mathematics and Physics | Volume 3, Article 258, ISSN: 2674-5747
https://doi.org/10.31219/osf.io/h7jv9 | published: 15 Dec 2021 | https://ojmp.org
KC

[white paper]
Diamond Open Access
[awaiting peer review]

A magia das portas quânticas

Colaboração Quântica Aberta[1]

11 de Dezembro de 2022

Resumo

Apresentamos algumas portas quânticas e suas respectivas interpretações físicas.

palavras-chave: bit quântico, qubit, portas quânticas, computação e informação quântica

A versão mais atualizada deste artigo está disponível em
https://osf.io/h7jv9/download
https://zenodo.org/record/5783625

Introdução

1. Uma porta quântica atua em um **bit quântico** (qubit) de modo *reversível*; mais detalhes podem ser encontrados em [1–3].

[1]Todos os autores com suas afiliações aparecem no final deste artigo.

Notação

2. O símbolo $:=$ indica que o que está à esquerda é definido pelo que está à direita.

3. $|\psi\rangle = a\,|0\rangle + b\,|1\rangle$ é um bit quântico (qubit) com $a, b \in \mathbb{C}$ e $|a|^2 + |b|^2 = 1$.

4. $I_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} :=$ matriz identidade 2×2

Portas Quânticas

5. Discutiremos sobre cada uma das seguintes **portas quânticas** que atuam em *apenas um qubit*: `X`, `Z`, `Y`, `ID`, `H`, $\mathtt{R}^z_\varphi$, `S`, $\mathtt{S}^\dagger$, `T`, $\mathtt{T}^\dagger$, $\mathtt{R}^x_\varphi$, $\mathtt{R}^y_\varphi$, $\sqrt{\mathtt{NOT}}$.

6. E veremos, também, as **portas quânticas** que atuam em *sistemas de dois e três qubits*, são elas, $\mathtt{H}^{\otimes n}$, `SWAP`, `CNOT (CX)`, `CY`, `CZ`, $\mathtt{CR}^z_\varphi$, `Toffoli CCNOT`, `Fredkin CSWAP`.

Bases ortonormais

7. $\{|0\rangle, |1\rangle\} :=$ `base computacional`

8. $\{|+\rangle, |-\rangle\} :=$ `base Hadamard`

9. $|+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle + |1\rangle\right)$

10. $|-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle - |1\rangle\right)$

11. $|i\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle + i\,|1\rangle\right)$

12. $|-i\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle - i\,|1\rangle\right)$

Bit quântico (qubit)

13. Iniciaremos com portas quânticas que atuam em *apenas um qubit* por vez.

14. A *base computacional* dos `qubits` pode ser representada por meio das seguintes *matrizes*.

15.
$$|0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

16.
$$|1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

17. Desse modo, temos que um `qubit` é dado por

$$|\psi\rangle = a\,|0\rangle + b\,|1\rangle = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix},$$

com $a, b \in \mathbb{C}$ e $|a|^2 + |b|^2 = 1$.

Porta Quântica X

18.
$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

19.
$$X\,|0\rangle = |1\rangle$$

20.
$$X\,|1\rangle = |0\rangle$$

21. A porta quântica X troca entre os estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$, isto é, faz um **bit flip**.

22. X é a versão quântica da porta clássica `NOT`.

23. Assim,
$$X|\psi\rangle = b|0\rangle + a|1\rangle .$$

24. Note que
$$XX = I_2,$$
ou seja, X é a sua própria inversa.

25. Calcule as seguintes operações.

26. $$X|+\rangle = ?$$

27. $$X|-\rangle = ?$$

28. $$X|i\rangle = ?$$

29. $$X|-i\rangle = ?$$

Porta Quântica Z

30. $$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

31. $$Z|+\rangle = |-\rangle$$

32. $$Z|-\rangle = |+\rangle$$

33. $$Z|i\rangle = |-i\rangle$$

34.
$$Z\ket{-i} = \ket{i}$$

35.
$$Z\ket{0} = \ket{0}$$

36.
$$Z\ket{1} = \ket{1}$$

37.
$$ZZ = I_2$$

38.
$$XZ = -ZX$$

39.
$$Z\ket{\psi} = a\ket{0} - b\ket{1}$$

40. A porta Z é chamada de **phase flip** porque *altera o sinal da segunda amplitude* na operação $Z\ket{\psi}$.

Porta Quântica Y

41.
$$Y = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix} = i\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

42.
$$Y\ket{0} = i\ket{1}$$

43.
$$Y\ket{1} = -i\ket{0}$$

44.
$$Y\ket{i} = \ket{i}$$

45.
$$Y\left|-i\right\rangle = \left|-i\right\rangle$$

46.
$$Y\left|+\right\rangle = ?$$

47.
$$Y\left|-\right\rangle = ?$$

48.
$$XY = -YX$$

49.
$$ZY = -YZ$$

50.
$$YY = I_2$$

51.
$$Y\left|\psi\right\rangle = -bi\left|0\right\rangle + ai\left|1\right\rangle = e^{\frac{3\pi}{2}i}\left(b\left|0\right\rangle - a\left|1\right\rangle\right)$$

52. Y faz um *bit flip* e um *phase flip*.

Porta Quântica `ID`

53.
$$\mathtt{ID} = I_2$$

54. A porta quântica `ID` (de *identidade*) não altera o estado original.

Porta Quântica H

55. $H :=$ porta `Hadamard`

56.
$$H = H^{\otimes 1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

57.
$$H\left|0\right\rangle = \left|+\right\rangle$$

58.
$$H\left|1\right\rangle = \left|-\right\rangle$$

59. Para $u \in \{0, 1\}$,
$$H\left|u\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|0\right\rangle + (-1)^u\left|1\right\rangle\right).$$

60.
$$H\left|+\right\rangle = \left|0\right\rangle$$

61.
$$H\left|-\right\rangle = \left|1\right\rangle$$

62. A porta H **coloca**/**retira** um `qubit` de uma *superposição quântica.*

63. A porta H **troca a base** de $\{\left|0\right\rangle, \left|1\right\rangle\}$ para $\{\left|+\right\rangle, \left|-\right\rangle\}$.

64.
$$H\left|\psi\right\rangle = ?$$

65.
$$H\left|i\right\rangle = ?$$

66.
$$H\left|-i\right\rangle = ?$$

67.
$$HH = I_2$$

68.
$$X = HZH$$

69.

$$HXH = ?$$

Porta Quântica R^z_φ

70.

$$R^z_\varphi = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{\varphi i} \end{bmatrix} = \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) I_2 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) iZ$$

71. O símbolo R^z_φ representa *infinitas portas*, pois $0 \leq \varphi < 2\pi$.

72. As portas R^z_φ mudam a fase de um qubit por φ; elas representam uma rotação arbitrária (do vetor de estado na esfera de Bloch) no eixo z.

73.

$$R^z_\varphi \, R^z_{2\pi-\varphi} = I_2$$

74.

$$R^z_0 = \mathtt{ID}$$

75.

$$R^z_\pi = Z$$

Porta Quântica S

76.

$$S = R^z_{\frac{\pi}{2}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{\frac{\pi}{2} i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix} = e^{\frac{\pi}{4}} \begin{bmatrix} e^{-\frac{\pi}{4} i} & 0 \\ 0 & e^{\frac{\pi}{4} i} \end{bmatrix}$$

77. A porta S ajusta a fase do estado em $0 \leq \theta < 2\pi$.

78. S é também chamada de *porta* $\frac{\pi}{4}$ e, também, de *phase gate*.

79.

$$S\,|0\rangle = ?$$

80.

$$S|1\rangle = ?$$

81.

$$S|\psi\rangle = ?$$

82.

$$S|+\rangle = ?$$

83.

$$S|-\rangle = ?$$

84.

$$S|i\rangle = ?$$

85.

$$S|-i\rangle = ?$$

Porta Quântica $S^\dagger$

86.

$$S^\dagger = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}^\dagger = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix}$$

87.

$$S^\dagger = R^z_{\frac{3\pi}{2}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{\frac{3\pi}{2}i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix}$$

88.

$$S^\dagger|0\rangle = ?$$

89.

$$S^\dagger|1\rangle = ?$$

90.

$$S^\dagger|\psi\rangle = ?$$

91.
$$S^\dagger \left|+\right\rangle = ?$$

92.
$$S^\dagger \left|-\right\rangle = ?$$

93.
$$S^\dagger \left|i\right\rangle = ?$$

94.
$$S^\dagger \left|-i\right\rangle = ?$$

Porta Quântica T

95.
$$T = R^z_{\frac{\pi}{4}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{\frac{\pi}{4}i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) + \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}} i \end{bmatrix}$$

96.
$$S = T\,T$$

97. T também é denominada *porta* $\frac{\pi}{8}$, dado que
$$T = e^{\frac{\pi}{8}} \begin{bmatrix} e^{-\frac{\pi}{8}i} & 0 \\ 0 & e^{\frac{\pi}{8}i} \end{bmatrix}.$$

98.
$$T \left|0\right\rangle = ?$$

99.
$$T \left|1\right\rangle = ?$$

100.
$$T \left|\psi\right\rangle = ?$$

101.
$$T \left|+\right\rangle = ?$$

102.

$$T\left|-\right\rangle = ?$$

103.

$$T\left|i\right\rangle = ?$$

104.

$$T\left|-i\right\rangle = ?$$

Porta Quântica $T^\dagger$

105.

$$\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}}+\frac{1}{\sqrt{2}}i\end{bmatrix}^\dagger = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}}-\frac{1}{\sqrt{2}}\,i\end{bmatrix}$$

106.

$$T^\dagger = R^z_{\frac{7\pi}{4}} = R^z_{-\frac{\pi}{4}} = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & e^{\frac{7\pi}{4}i}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & \cos\left(\frac{7\pi}{4}\right)+\sin\left(\frac{7\pi}{4}\right)i\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}}-\frac{1}{\sqrt{2}}\,i\end{bmatrix}$$

107.

$$S^\dagger = T^\dagger T^\dagger$$

108.

$$T^\dagger\left|0\right\rangle = ?$$

109.

$$T^\dagger\left|1\right\rangle = ?$$

110.

$$T^\dagger\left|\psi\right\rangle = ?$$

111.

$$T^\dagger\left|+\right\rangle = ?$$

112.

$$T^\dagger\left|-\right\rangle = ?$$

113.

$$T^\dagger |i\rangle = ?$$

114.

$$T^\dagger |-i\rangle = ?$$

Porta Quântica R^x_φ

115.

$$R^x_\varphi = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) & -\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) i \\ -\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) i & \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \end{bmatrix} = \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) I_2 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) iX$$

116. As portas R^x_φ representam uma *rotação arbitrária* (do vetor de estado na esfera de Bloch) *no eixo* x.

Porta Quântica R^y_φ

117.

$$R^y_\varphi = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) & -\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \\ \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) & \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \end{bmatrix} = \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) I_2 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) iY$$

118. As portas R^y_φ representam uma *rotação arbitrária* (do vetor de estado na esfera de Bloch) *no eixo* y.

Porta Quântica $\sqrt{\texttt{NOT}}$

119.

$$\sqrt{\texttt{NOT}} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1+i & 1-i \\ 1-i & 1+i \end{bmatrix}$$

120.

$$\sqrt{\texttt{NOT}}\,\sqrt{\texttt{NOT}} = X$$

121.

$$\sqrt{\texttt{NOT}}\,|0\rangle = ?$$

122.
$$\sqrt{\texttt{NOT}}\,|1\rangle = ?$$

123.
$$\sqrt{\texttt{NOT}}\,|\psi\rangle = ?$$

124.
$$\sqrt{\texttt{NOT}}\,|+\rangle = ?$$

125.
$$\sqrt{\texttt{NOT}}\,|-\rangle = ?$$

126.
$$\sqrt{\texttt{NOT}}\,|i\rangle = ?$$

127.
$$\sqrt{\texttt{NOT}}\,|-i\rangle = ?$$

Múltiplos qubits

128. A seguir, veremos algumas portas quânticas que operam com ***sistemas de dois e três qubits***.

Porta Quântica $H^{\otimes n}$

129.
$$H^{\otimes 2} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} H & H \\ H & -H \end{bmatrix}$$

130. $H^{\otimes 2}$ é uma matriz 4×4, que atua em um sistema de <u>dois</u> qubits.

131.
$$H^{\otimes 2}\,|00\rangle = \frac{1}{2}\left(|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle\right)$$

132. $H^{\otimes 2}$ coloca o sistema $|00\rangle$ em **superposição**.

133.

$$H^{\otimes 3} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} H^{\otimes 2} & H^{\otimes 2} \\ H^{\otimes 2} & -H^{\otimes 2} \end{bmatrix}$$

134. $H^{\otimes 3}$ é uma matriz 8×8, que atua em um sistema de <u>três</u> qubits.

135.

$$H^{\otimes 3} |000\rangle = \frac{1}{2\sqrt{2}} \big(|000\rangle + |001\rangle + |010\rangle + |011\rangle + \\ + |100\rangle + |101\rangle + |110\rangle + |111\rangle \big)$$

136. Calcule $H^{\otimes 4} |0000\rangle$ e escreva o resultado na base computacional.

137. Podemos reescrever (135) assim,

$$H^{\otimes 3} |0\rangle_3 = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(|0\rangle_3 + |1\rangle_3 + |2\rangle_3 + |3\rangle_3 + |4\rangle_3 + |5\rangle_3 + |6\rangle_3 + |7\rangle_3 \right)$$

138.

$$H^{\otimes n} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} H^{\otimes n-1} & H^{\otimes n-1} \\ H^{\otimes n-1} & -H^{\otimes n-1} \end{bmatrix}$$

139.

$$H^{\otimes n} |0\rangle_n = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{j=0}^{n-1} |j\rangle_n$$

Porta Quântica `SWAP`

140.

$$\texttt{SWAP} = M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

141. M é um exemplo de *matriz de permutação.*

142.

$$M \left(|\psi\rangle_1 \otimes |\psi\rangle_2 \right) = |\psi\rangle_2 \otimes |\psi\rangle_1$$

143.
$$M\,|00\rangle = |00\rangle$$

144.
$$M\,|01\rangle = |11\rangle$$

145.
$$M\,|10\rangle = |10\rangle$$

146.
$$M\,|11\rangle = |01\rangle$$

147. O segundo qubit é o de controle, se for $|0\rangle$, ambos ficam inalterados; se for $|1\rangle$, então apenas o primeiro qubit é alterado.

148. Como o comportamento (147) é o contrário de (156), então a porta M é, às vezes, denominada `CNOT` **reversa**.

Porta Quântica `CNOT (CX)`

149. A porta `CNOT` é utilizada para criar **qubits emaranhados** (`vetores de estado de Bell`).

150. A letra `C` vem de "controle".

151.
$$\texttt{CNOT} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_2 & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix}$$

152.
$$\texttt{CNOT}\,|00\rangle = |00\rangle$$

153.
$$\texttt{CNOT}\,|01\rangle = |01\rangle$$

154.

$$\texttt{CNOT}\,|10\rangle = |11\rangle$$

155.

$$\texttt{CNOT}\,|11\rangle = |10\rangle$$

156. O primeiro qubit é o de controle, se for $|0\rangle$, ambos ficam inalterados; se for $|1\rangle$, então apenas o segundo qubit é alterado.

157.

$$M = H^{\otimes 2}\,\texttt{CNOT}\,H^{\otimes 2}$$

Porta Quântica CY

158.

$$\texttt{CY} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \end{bmatrix}$$

159.

$$\texttt{CY}\,|00\rangle = ?$$

160.

$$\texttt{CY}\,|01\rangle = ?$$

161.

$$\texttt{CY}\,|10\rangle = ?$$

162.

$$\texttt{CY}\,|11\rangle = ?$$

Porta Quântica $\texttt{CZ}$

163.

$$\texttt{CZ} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \end{bmatrix}$$

164.

$$\texttt{CZ}\,|00\rangle = ?$$

165.

$$\texttt{CZ}\,|01\rangle = ?$$

166.

$$\texttt{CZ}\,|10\rangle = ?$$

167.

$$\texttt{CZ}\,|11\rangle = ?$$

168. $\texttt{CZ}$ faz uma mudança de sinal condicional.

Porta Quântica controle-U

169.

$$U = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$$

170.

$$\texttt{controle-}U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & b \\ 0 & 0 & c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & U \end{bmatrix}$$

Portas Quânticas CS e CH

171. *Como construir as seguintes portas quânticas, utilizando-se um qubit de controle?*

172.
$$\texttt{CS} = ?$$

173.
$$\texttt{CH} = ?$$

Porta Quântica C-$\sqrt{\texttt{NOT}}$

174.
$$\texttt{C-}\sqrt{\texttt{NOT}} = ?$$

Porta Quântica $\texttt{CR}_\varphi^z$

175. Esta é uma porta de controle, cuja ação está em R_φ^z.

176. O primeiro qubit controla se haverá mudança de fase ou rotação na esfera de Bloch.

177.
$$\texttt{CR}_\varphi^z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{\varphi i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\varphi + i\sin\varphi \end{bmatrix}$$

Porta Quântica Toffoli CCNOT

178. A CCNOT é uma porta quântica de controle duplo.

179. Se os dois primeiros qubits forem $|1\rangle$, então ela aplica ID nos dois primeiros e X no terceiro; caso contrário, ela aplica ID nos três.

180. A $\texttt{CCNOT}$ é uma matriz 8×8 que permuta os dois últimos coeficientes, dada por

$$\texttt{CCNOT} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

181.

$$\texttt{CCNOT}\,|000\rangle = |000\rangle$$

182.

$$\texttt{CCNOT}\,|001\rangle = |001\rangle$$

183.

$$\texttt{CCNOT}\,|010\rangle = |010\rangle$$

184.

$$\texttt{CCNOT}\,|011\rangle = |011\rangle$$

185.

$$\texttt{CCNOT}\,|100\rangle = |100\rangle$$

186.

$$\texttt{CCNOT}\,|101\rangle = |101\rangle$$

187.

$$\texttt{CCNOT}\,|110\rangle = |111\rangle$$

188.

$$\texttt{CCNOT}\,|111\rangle = |110\rangle$$

Porta Quântica Fredkin CSWAP

189. A `CSWAP` é uma porta de controle; se o estado do primeiro qubit for $|1\rangle$, aplica-se `SWAP` (M) nos outros dois; se o primeiro qubit for $|0\rangle$, nada muda.

190. Vamos lembrar, a seguir, o que faz a matriz M (em dois qubits).

191.
$$M\,|00\rangle = |00\rangle$$

192.
$$M\,|01\rangle = |11\rangle$$

193.
$$M\,|10\rangle = |10\rangle$$

194.
$$M\,|11\rangle = |01\rangle$$

195. A `CSWAP` é uma matriz de permutação 8×8, dada por

$$\texttt{CSWAP} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

196.
$$\texttt{CSWAP}\,|000\rangle = |000\rangle$$

197.
$$\texttt{CSWAP}\,|001\rangle = |001\rangle$$

198.

$$\texttt{CSWAP}\,|010\rangle = |010\rangle$$

199.

$$\texttt{CSWAP}\,|011\rangle = |011\rangle$$

200.

$$\texttt{CSWAP}\,|100\rangle = |100\rangle$$

201.

$$\texttt{CSWAP}\,|101\rangle = |111\rangle$$

202.

$$\texttt{CSWAP}\,|110\rangle = |110\rangle$$

203.

$$\texttt{CSWAP}\,|111\rangle = |101\rangle$$

Outras portas?

204. *Crie sua própria porta quântica!*

Considerações Finais

205. Vimos portas quânticas que operam em **um**, **dois** e **três** `qubits`.

206. A partir disso, o leitor poderá ter *insights* na *construção de novas portas quânticas.*

207. *A combinação de portas quânticas em um circuito pode nos revelar muitos mistérios da natureza!* [4]

Arquivos Suplementares

O **arquivo latex** para este artigo, juntamente com outros *arquivos suplementares*, estão disponíveis em [5, 6]. Seja coautor(a) deste artigo, envie sua contribuição para `mplobo@uft.edu.br`.

Consentimento

Os autores concordam com [7].

Como citar este artigo?

`https://doi.org/10.31219/osf.io/h7jv9`
`https://zenodo.org/record/5783625`

Licença

Referências

[1] Sutor, Robert S. *Dancing with Qubits: How quantum computing works and how it can change the world*. Packt Publishing Ltd, 2019.

[2] Bernhardt, Chris. *Quantum computing for everyone*. MIT Press, 2019.

[3] Nielsen, Michael A., and Isaac Chuang. *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press, 2010.

[4] Lobo, Matheus P. "Genes Are Quantum Computers." *OSF Preprints*, 20 June 2020. `https://doi.org/10.31219/osf.io/a7tbu`

[5] Lobo, Matheus P. "Open Journal of Mathematics and Physics (OJMP)." *OSF*, 21 Apr. 2020.
https://doi.org/10.17605/osf.io/6hzyp

[6] https://zenodo.org/record/..

[7] Lobo, Matheus P. "Simple Guidelines for Authors: Open Journal of Mathematics and Physics." *OSF Preprints*, 15 Nov. 2019.
https://doi.org/10.31219/osf.io/fk836

[8] CC. Creative Commons. *Attribution 4.0 International* (CC BY 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0

Colaboração Quântica Aberta

Matheus Pereira Lobo[1,2,3] (mplobo@uft.edu.br)
https://orcid.org/0000-0003-4554-1372

João Marcos Costa da Silva[1,2,4]
https://orcid.org/0000-0002-9332-9619

[1]Universidade Federal do Tocantins (Brasil)
[2]Universidade Federal do Norte do Tocantins (Brasil)
[3]Universidade Aberta (UAb, Portugal)
[4]Colégio Estadual Dulce Coelho de Sousa (Angico, Tocantins, Brasil)