

UM ESTUDO SOBRE O QUARTO ELEMENTO FUNDAMENTAL DE CIRCUITOS: O MEMRISTOR



Lesly Montúfar
leslymontufar@ufu.br

Introdução

A partir da análise das possíveis combinações entre as quatro variáveis fundamentais de circuitos, Chua [1] baseando-se no argumento da simetria, postulou que haveria um elemento de circuito faltante, capaz de associar as variáveis carga $q(t)$ e fluxo magnético $\varphi(t)$. Por isso, em 1971, idealizou o novo componente, definido pela relação $d\varphi = Mdq$, conforme a Figura 1, e denominou-o *memristor*, uma contração de *memory resistor*.

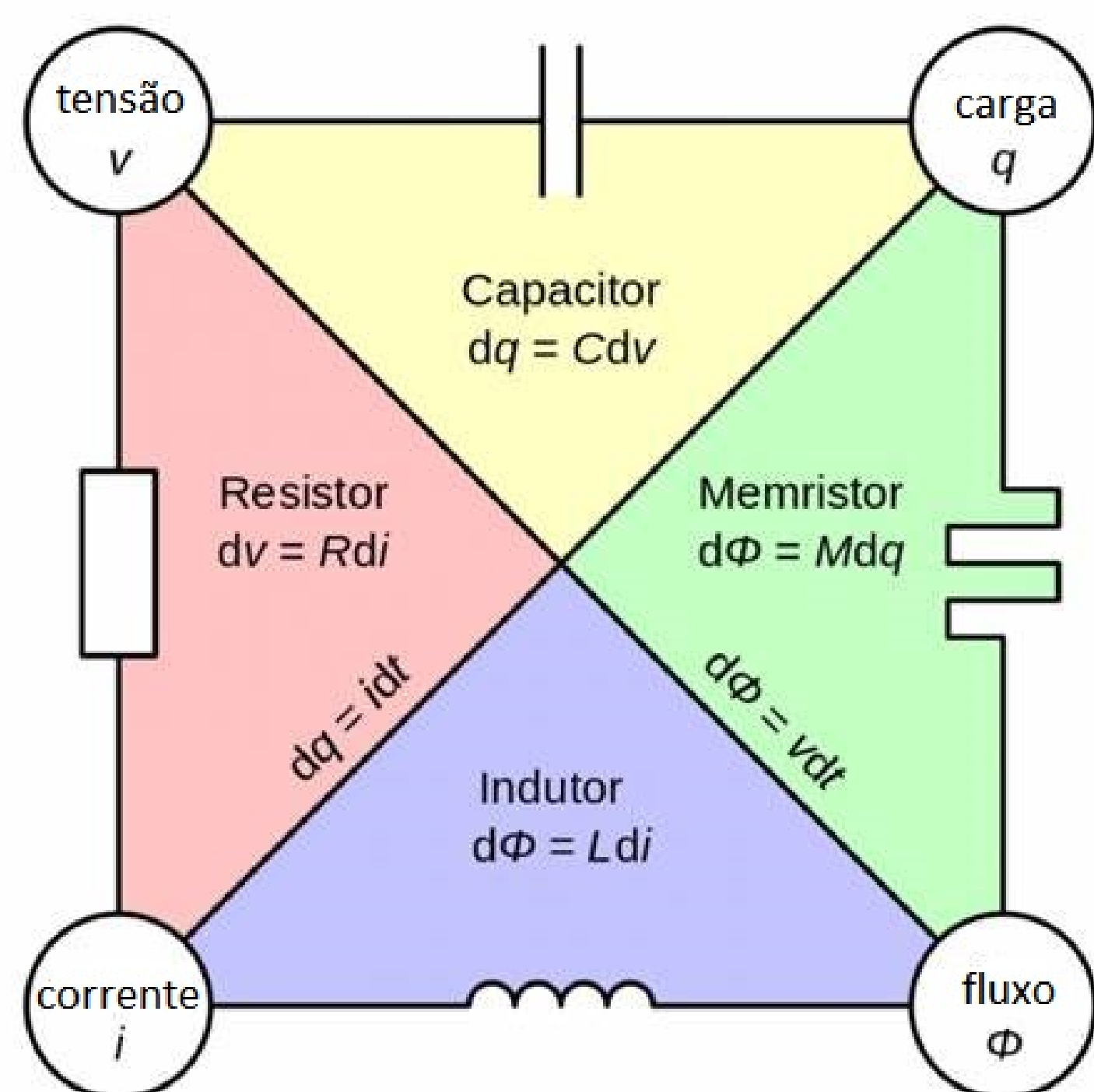


Figura 1: Combinações possíveis entre as quatro variáveis fundamentais de circuito.

Considerado, portanto, o quarto elemento fundamental dos circuitos eletrônicos, ao lado do capacitor (1745), resistor (1827) e indutor (1831), o *memristor* destaca-se por apresentar uma propriedade da não-volatilidade, que, aliada a possibilidade de ser trabalhado em escala nanométrica, o torna promissor em aplicações como memórias ReRam e computação neuromórfica.

Modelo de Deriva Linear

O primeiro modelo foi proposto pela *HP Labs* [2], no qual primeiramente é suposto um campo elétrico uniforme através do dispositivo, que resulta em uma relação linear entre a velocidade de deriva e o campo elétrico líquido. Assim, a memristância $M(q)$ define-se como na Equação (1), sendo que $Q_D = D^2/\mu_D R_{ON}$ é a carga necessária para mover a deriva de $w(t_0)$, onde $w \rightarrow 0$, para $w(t_D)$, onde $w \rightarrow D$.

$$M(q) = R_{OFF} \left(1 - \frac{q(t)}{Q_D} \right) \quad (1)$$

Conclusão

Analisa-se os fundamentos físico-químicos e matemáticos do quarto elemento fundamental de circuitos: o *memristor*. Estruturalmente é caracterizado pela redistribuição das nanopartículas dopantes ao longo de sua camada dielétrica, comumente composta por um óxido. No sentido matemático, demonstrou-se que a propriedade da não-volatilidade advém do *pinched hysteresis loop* e que suas características aprimoram-se na redução de escala.

Referências

- [1] L. Chua. Memristor - the missing circuit element. In *IEEE Transactions on circuit theory*, Setembro 1971.
- [2] D.R. Stewart R.S Williams D.B. Strukov, G.S. Snider. The missing memristor found. In *Nature*, pages 80–83, vol. 453, 2008.

Funcionamento estrutural

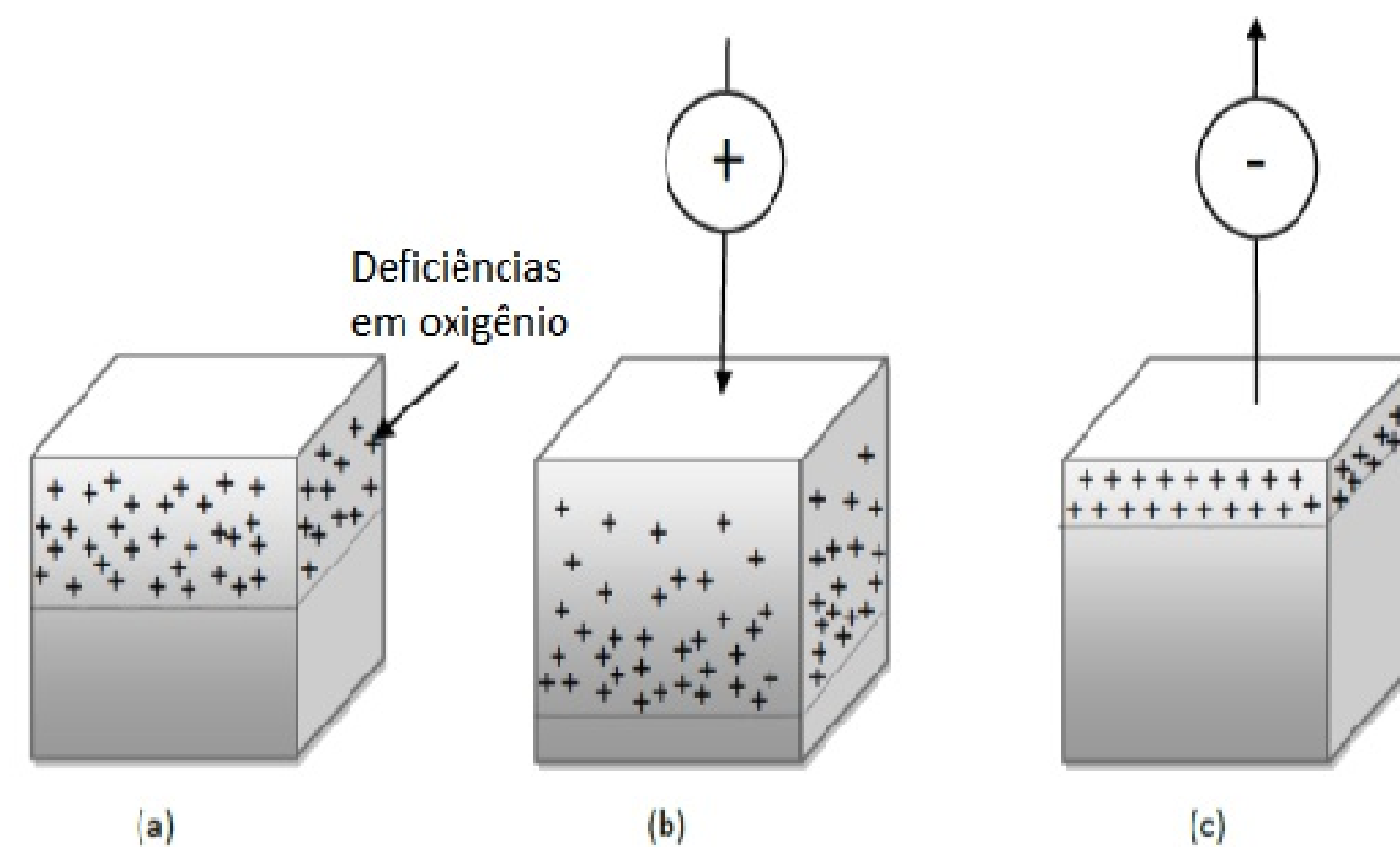


Figura 2: Mecanismo interno de um *memristor*.

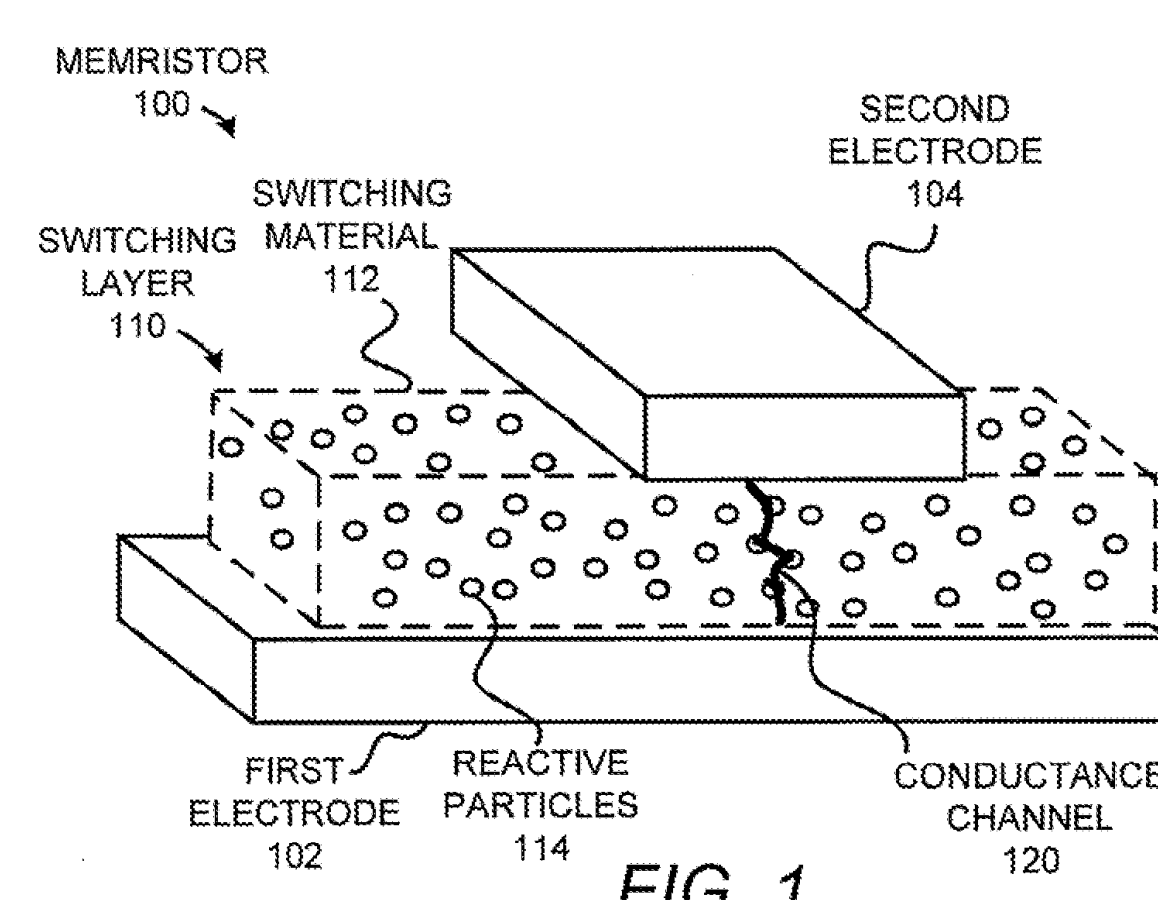


FIG. 1

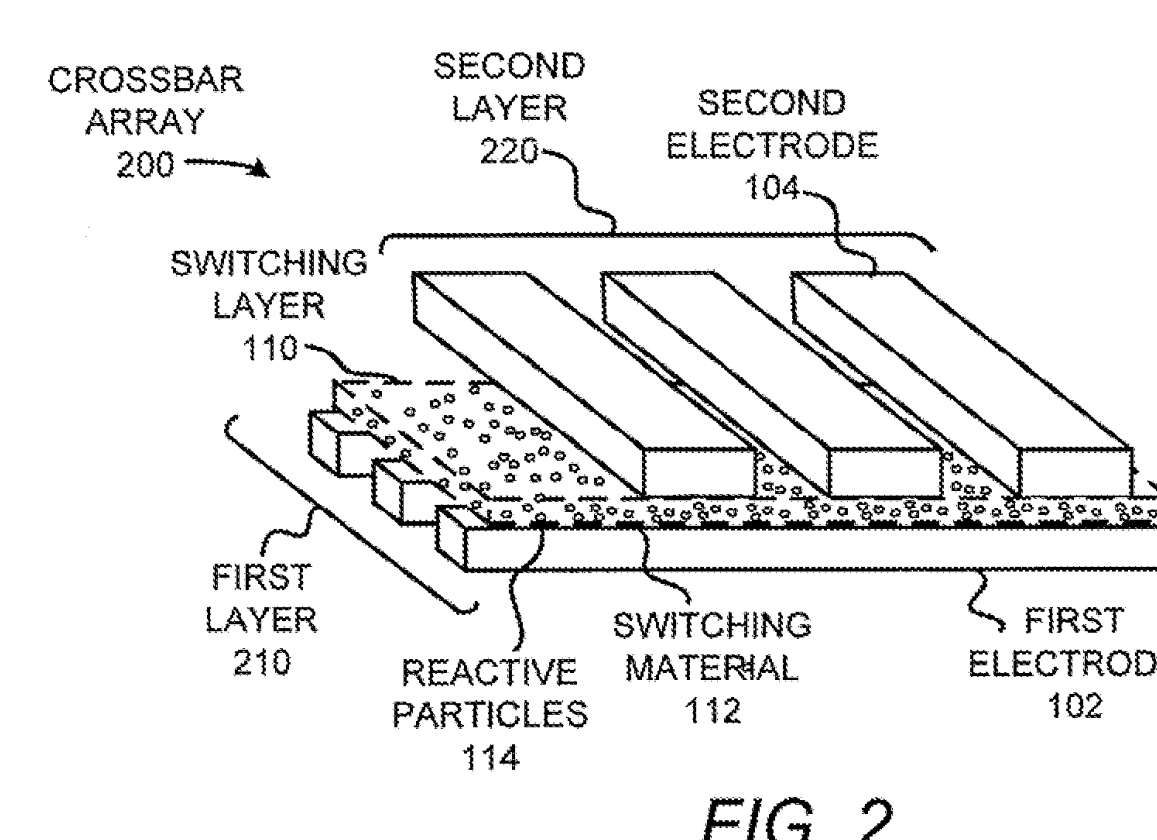


FIG. 2

Figura 3: *Electroforming* e simbologia.

Fundamentos Matemáticos

Um *memristor*, cujo símbolo é apresentado na Figura 3, modelado a partir das primeiras especificações da *HP Labs* permite extrair as Equações 2, 3 e 4. Considerando um memristor controlado por carga, da parametrização das grandezas carga elétrica $q(t)$, variável de estado $x(t) = w(t)/D$ e corrente elétrica $i(t)$ tem-se:

$$q(t) = Q_D \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2}{Q_D R_{OFF}} \varphi(t)} \right) \quad (2)$$

$$x(t) = 1 - \sqrt{1 - \frac{2\mu_D}{r D^2} \varphi(t)} \quad (3)$$

$$i(t) = \frac{v(t)}{R_{OFF} \left(\sqrt{1 - \frac{2\mu_D}{r D^2} \varphi(t)} \right)} \quad (4)$$

Assim, aplicando uma tensão elétrica $v = v_0 \sin(\omega t)$, tem-se que o fluxo, que é a integral no tempo da tensão, será dado por:

$$\varphi(t) = \frac{v_0 (1 - \cos(\omega t))}{\omega} \quad (5)$$

Utilizando-se as Equações citadas para $v_0 = 1$, com mobilidade $\mu_D \sim 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{V.s}$, comprimento $D \sim 10 \text{ nm}$, e resistências do estado *ON* e *OFF*, $R_{ON} \sim 100\Omega$ e $R_{OFF} \sim 16 \text{ K}\Omega$, respectivamente, é possível simular as curvas características via *MATLAB*, como na Figura 4.

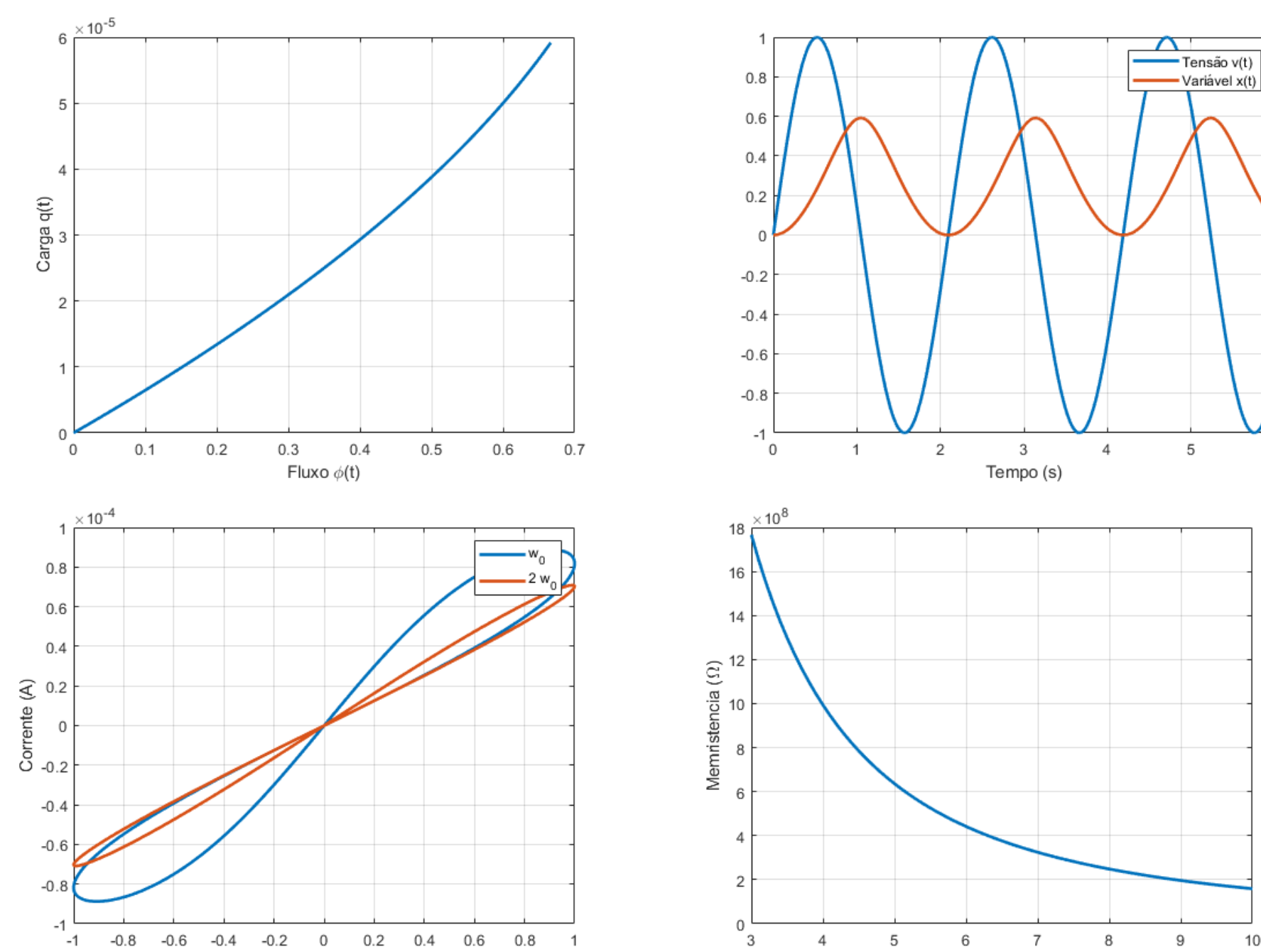


Figura 4: Simulações *MATLAB*.

Análise computacional

As Figuras 5, 6 e 7, obtidas no simulador *LTS-PICE*, ilustram o teorema fundamental: "todo dispositivo de duplo terminal que exibe um *pinched hysteresis loop* no plano tensão-corrente quando conduzido por um sinal DC e/ou senoidal de qualquer frequência é um sistema memristivo".

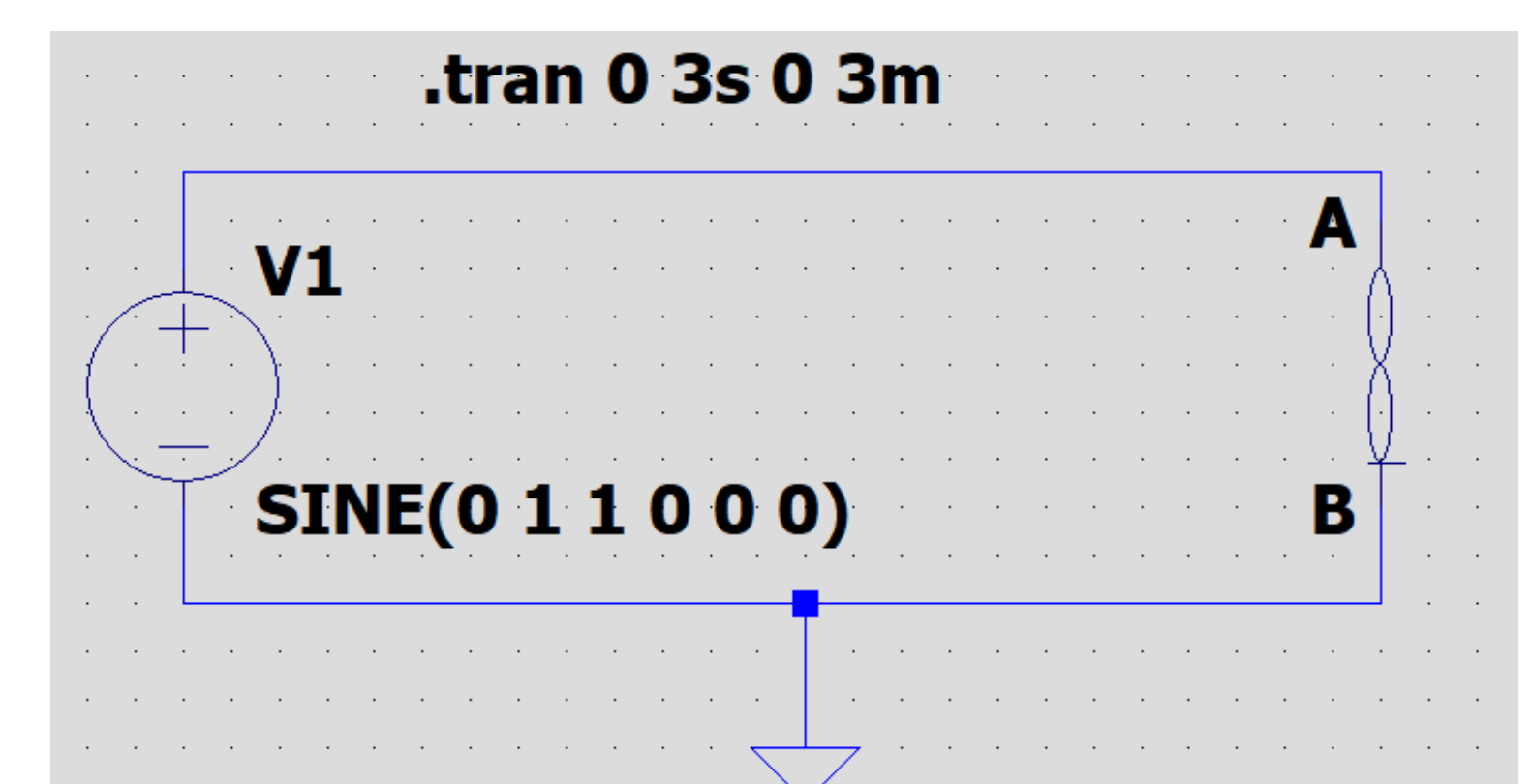


Figura 5: Circuito *LTSPICE*.

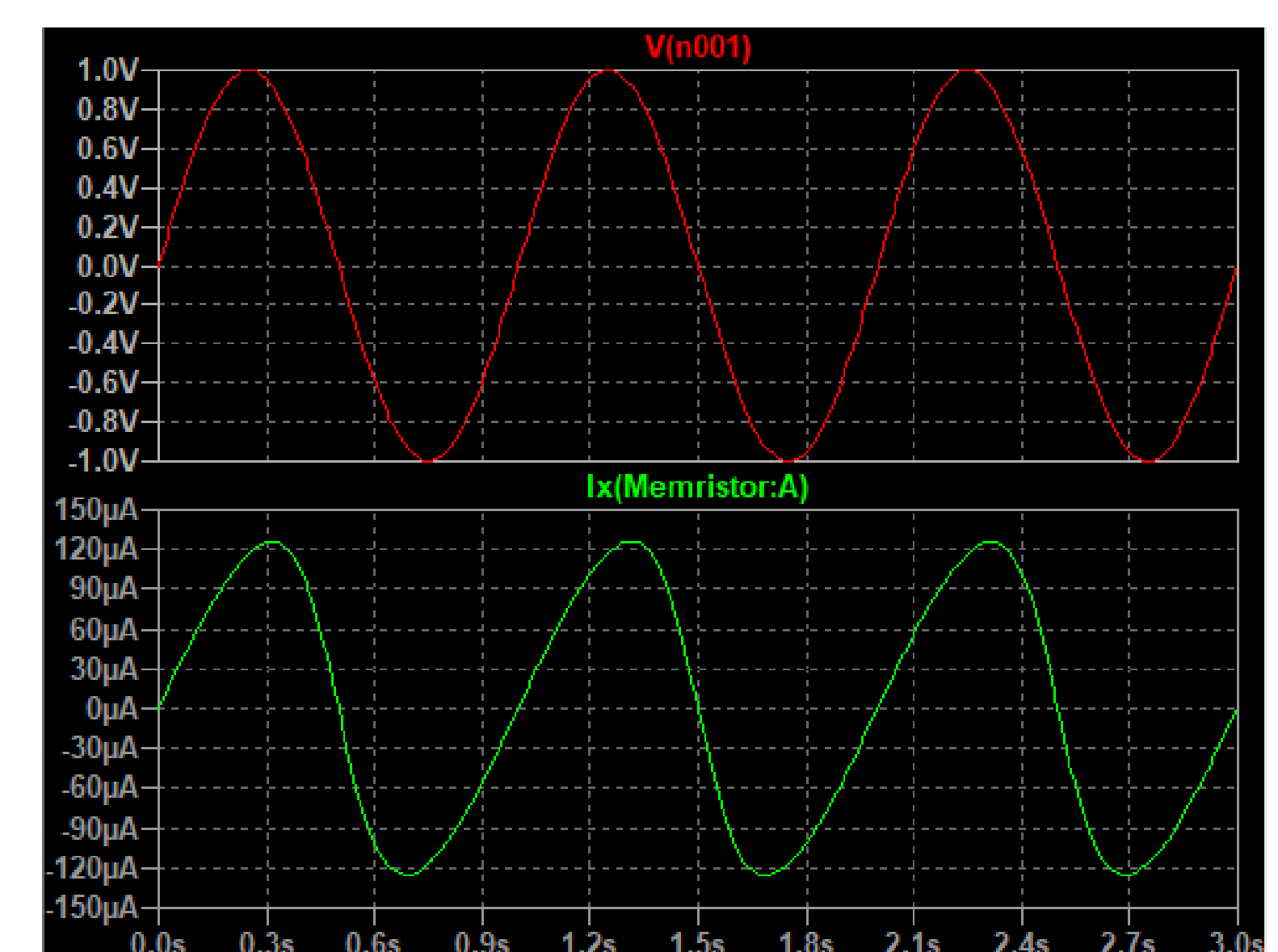


Figura 6: Tensão e corrente no domínio do tempo.

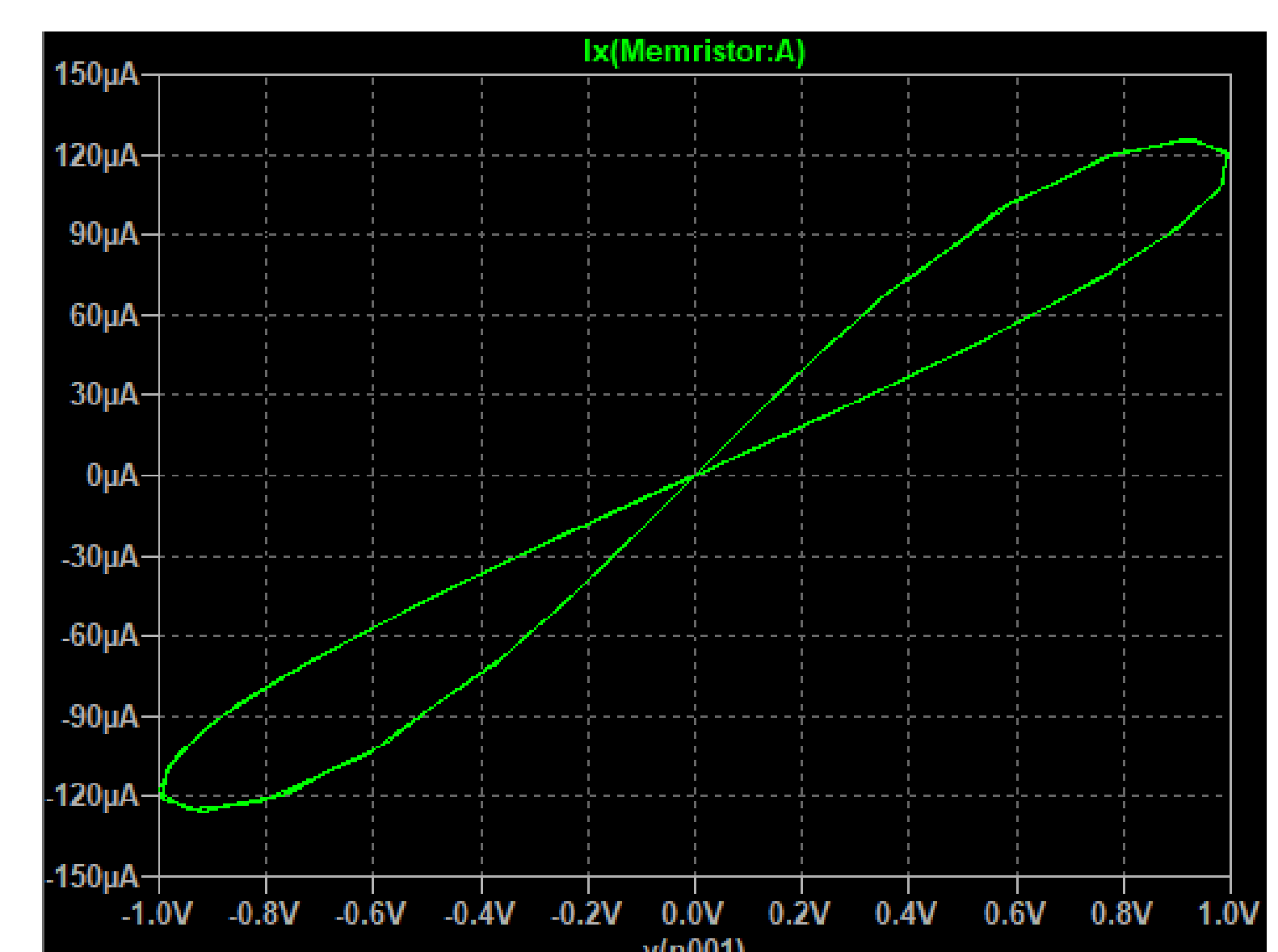


Figura 7: *Pinched hysteresis loop*.

Entretanto, pesquisas indicam que o efeito memristivo pode ocorrer também para dispositivos com diferentes curvas $v-i$, e outras contestam a similaridade do componente sintetizado com o proposto por Chua [1].