

# Memcomputação

Características e aplicações  
em computação paralela

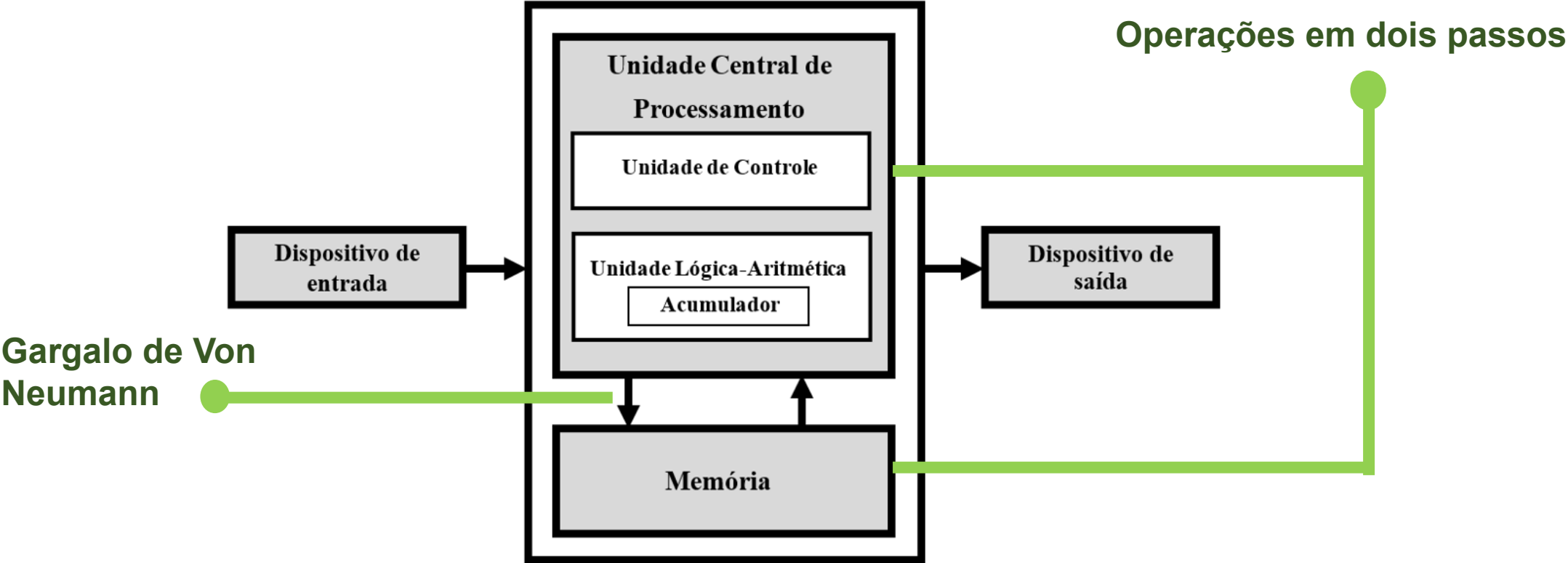
**Rodrigo de Sousa Pissardini, MSc.**

Laboratório de Topografia e Geodésia  
Departamento de Engenharia de Transportes  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



# Contexto: Arquitetura de Von Neumann (1945)

Base dos computadores com programa armazenado.



# Algumas propostas para contornar as limitações da arquitetura de Von Neumann

Redução do tamanho  
Componentes melhores  
*Caching*

*limitações físicas*

Multiprocessadores  
*Multithreading*  
Memória compartilhada  
Readequação da Arquitetura

*limitações de comunicação*

Computação quântica

*“Tudo está pronto, só que ela ainda não existe”*

# Mas...

A arquitetura de Von Neumann realiza dois passos de processamento porque, classicamente, memórias não realizam processamento e processadores não guardam memória.

**Isto é uma limitação física, não lógica.**

## E se ...

Fosse possível **processar e armazenar dados ao mesmo tempo ?**

# Memcomputação

Modelo de computação que se baseia na possibilidade de **processar e realizar armazenamento no mesmo componente físico.**

**Proposta inicial:** 1971 (Leon Ong Chua)

**Primeira aplicação real:** 2008 (Hewlett –Packard)

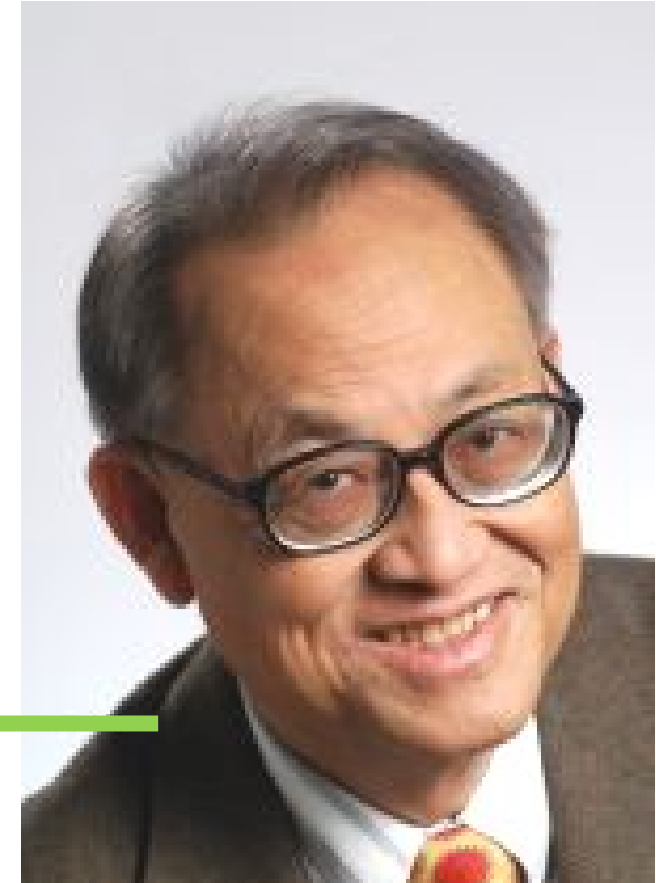
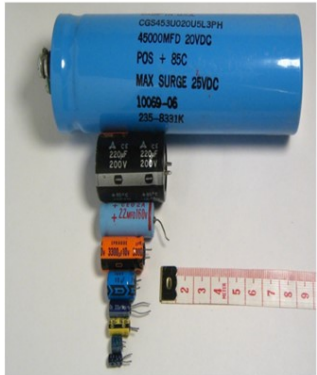
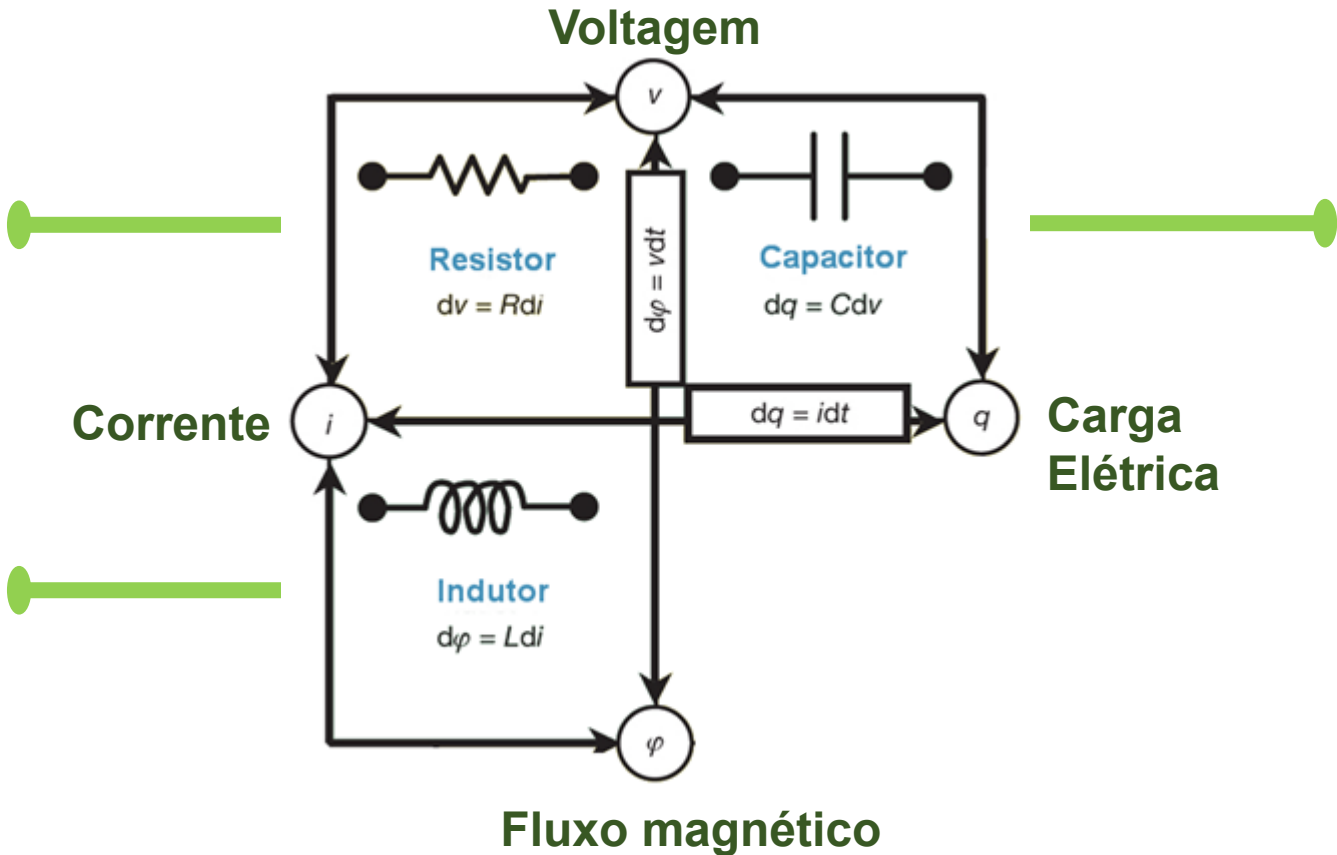
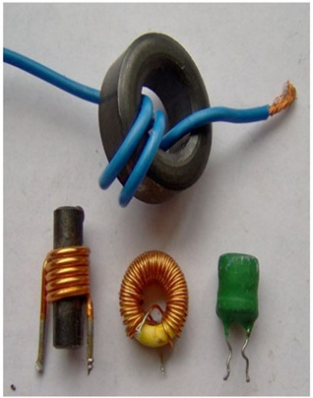
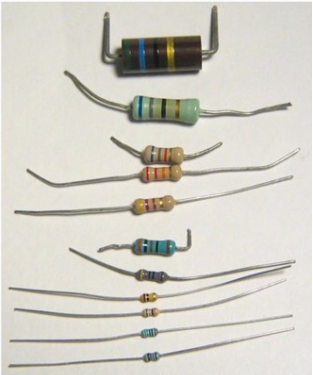


Imagem: <http://www.eecs.berkeley.edu/~chua/>

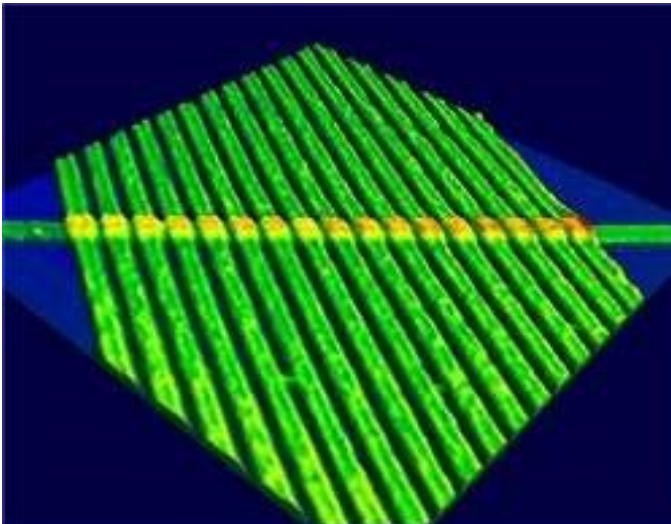
# Componentes clássicos da eletrônica



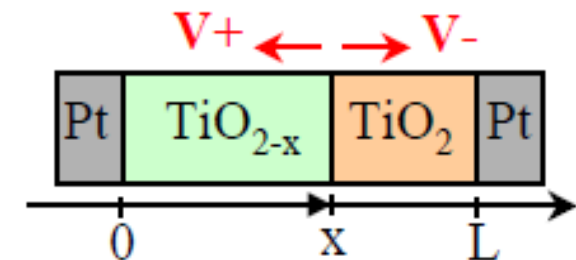
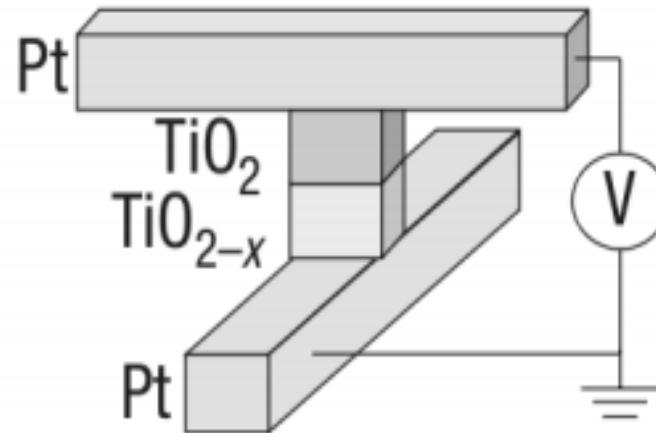
Fotos: Wikimedia Commons CC-BY-SA 3.0

# Memristor

Componente eletrônico que altera o seu estado (resistência) conforme a carga elétrica que flui em si.



50 nm ou 150 átomos



**Memristor HP** (STRUKOV et al., 2008)

# Algumas considerações sobre o memristor

- **Implementações:** óxido de titânio, silício, grafeno, ferroelétrico, etc.
- **Substituto de:** resistores e transistores
- **Escala manométrica:** 3 nm<sup>2</sup>. **Limite do transistor:** 5 nm<sup>2</sup> (?)
- **Acesso:** cerca de 1 ns (1 GHz)
- **Menor gasto de energia:** ao executar uma única operação de processamento
- **Armazena a última resistência** (estado), mesmo sem energia
- Permite trabalhar **qualquer valor não-discreto** entre 0 e 1
- **Promessas de memórias memristivas (HP):** capacidade de 100 TB até 2018 e 1,5 PB até o final da década.
- **Uso embarcado:** “The Machine”



# Memcapacitor e Memindutor

## Memcapacitor

**Objetivo:** armazenar carga elétrica e usar sua capacitância para armazenamento. A energia pode ser reciclada.

### Tipos

- Ferroelétrico
- Baseado em memristor

## Memindutor

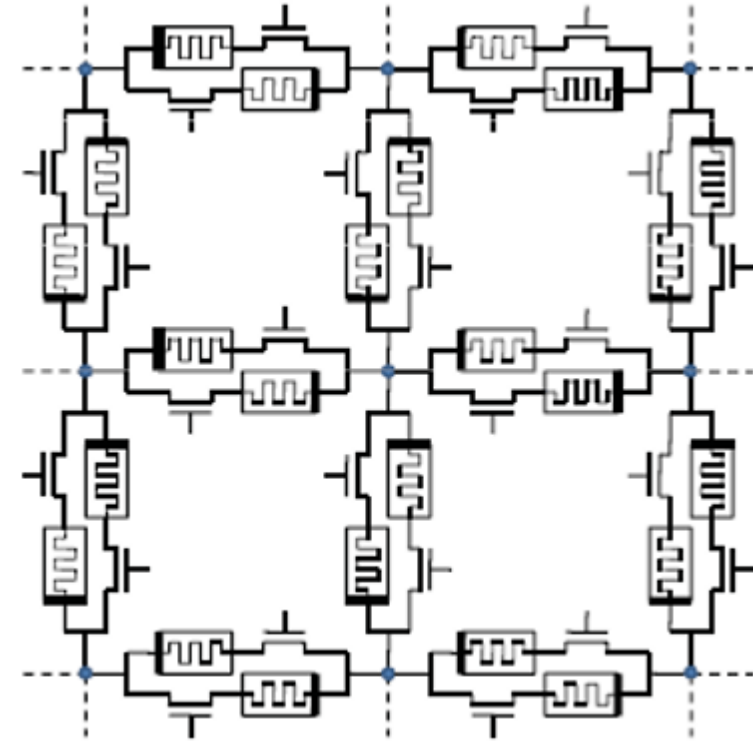
**Objetivo:** acumular energia magnética e usar sua indutância para processamento, agregando funções de **memristor** e **memcapacitor**.

### Tipos

- Grandes bobinas
- Baseado em memristor

# Sistemas Memcomputacionais

- Coleções de memelementos com processamento **paralelo e escalável** e integrável às atuais arquiteturas
- Os **resultados** são lidos dos **memelementos mais importantes**
- É um sistema robusto contra **falhas e ruídos**
- **Extrapolam o limite binário** por tratarem os dados de forma analógica.
- Trabalham no nível do **nanômetro** (tamanho de  $\pm 20$  nm – capacidade de 100 GB/cm<sup>2</sup>)



Grade de memristores

# Aplicações em *Hardware* e *Software*

## *Hardware*

Osciladores sinoidais

Circuitos analógicos

Filtros adaptativos

*Dynamic Computing Random Access Memory (DCRAM)*

Processadores Memristivos

## *Software + Hardware*

Operações paralelas

Resolução de labirinto

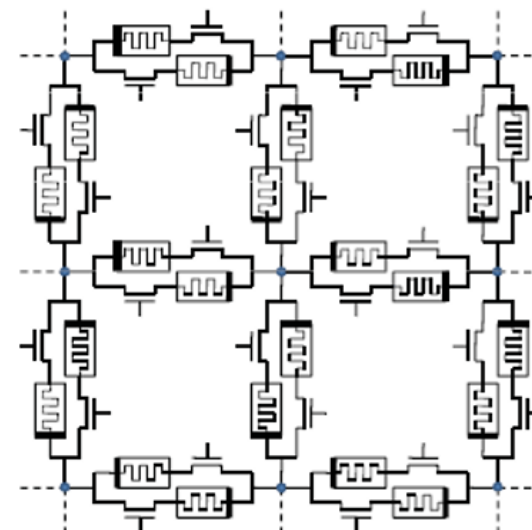
Menor caminho

Redes neurais e circuitos neuromórficos

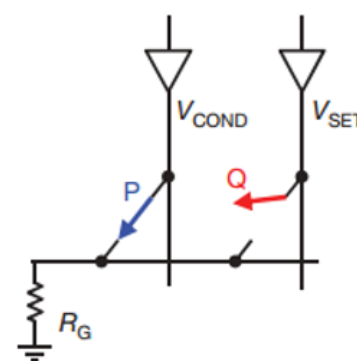
# Aplicações Paralelas: Processamento Paralelo

Partes de um programa paralelo podem ser divididos em grupos de memebmentos que atuam paralelamente e compartilham memebmentos de resultados

Devido ao polimorfismo dos componentes, dois memebmentos podem processar diferentes instruções de forma cíclica (“calcule  $x$  e  $y$ ”, “calcule  $x$  ou  $y$ ” e “além disso calcule  $z$ ”)



(VENTRA;PERSHIN,2014)

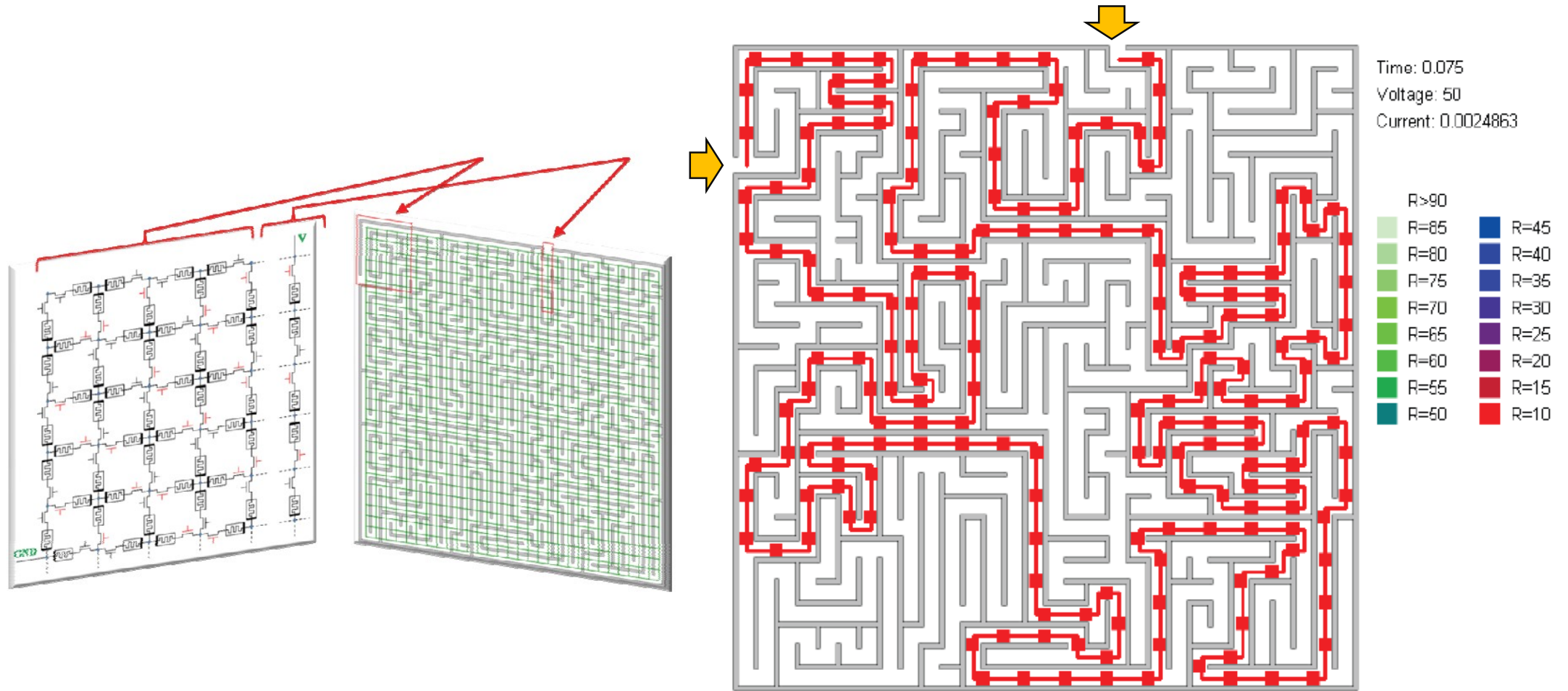


$q' \leftarrow pIMPq$

In	In	Out
$p$	$q$	$q'$
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

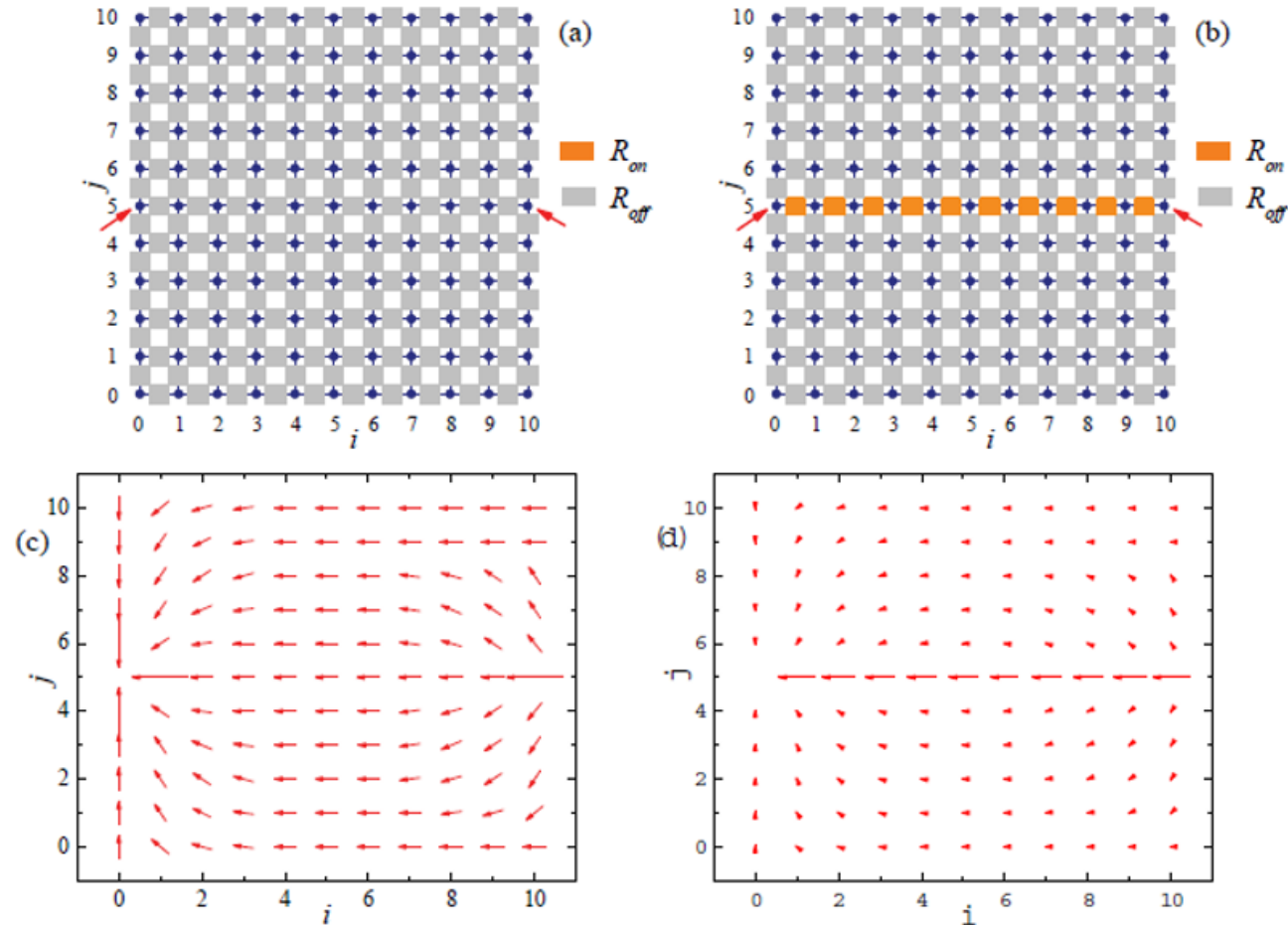
(BORGHETTI et al., 2010)

# Aplicações Paralelas: Saída de um labirinto



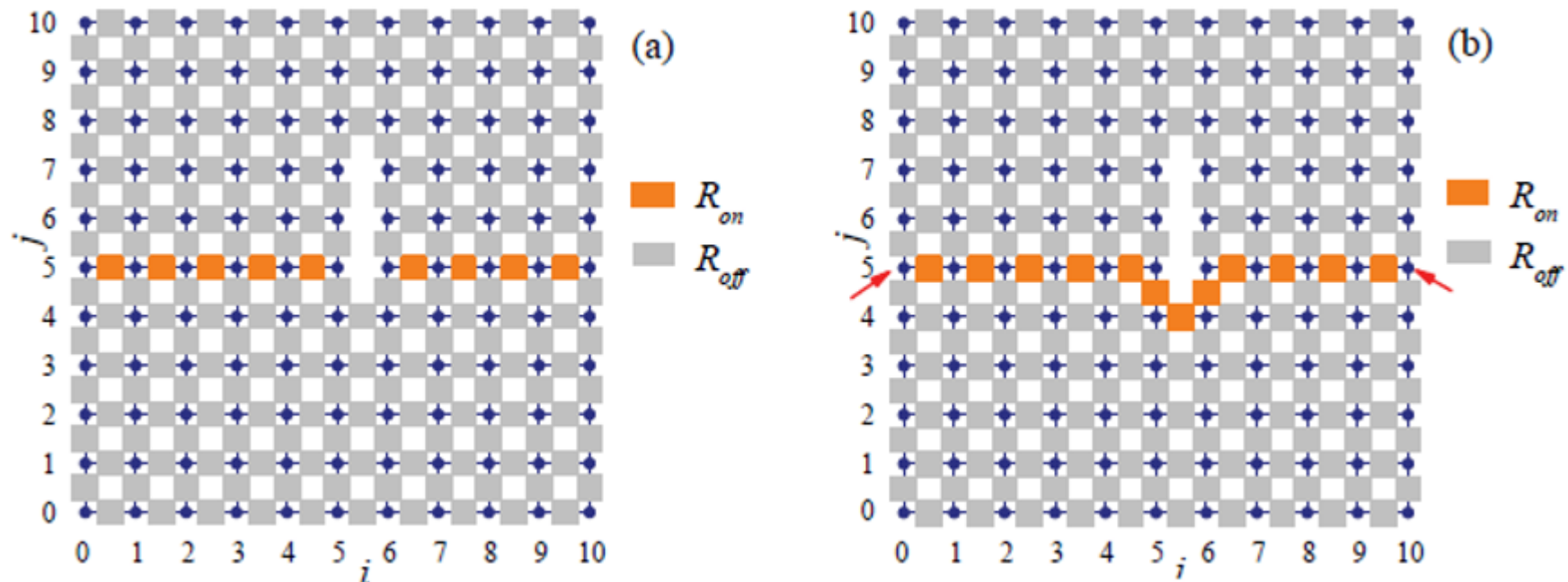
(VENTRA; PERSHIN, 2011)

# Aplicações Paralelas: Menor caminho



(PERSHIN; VENTRA, 2014)

# Aplicações Paralelas: Menor caminho com danificação

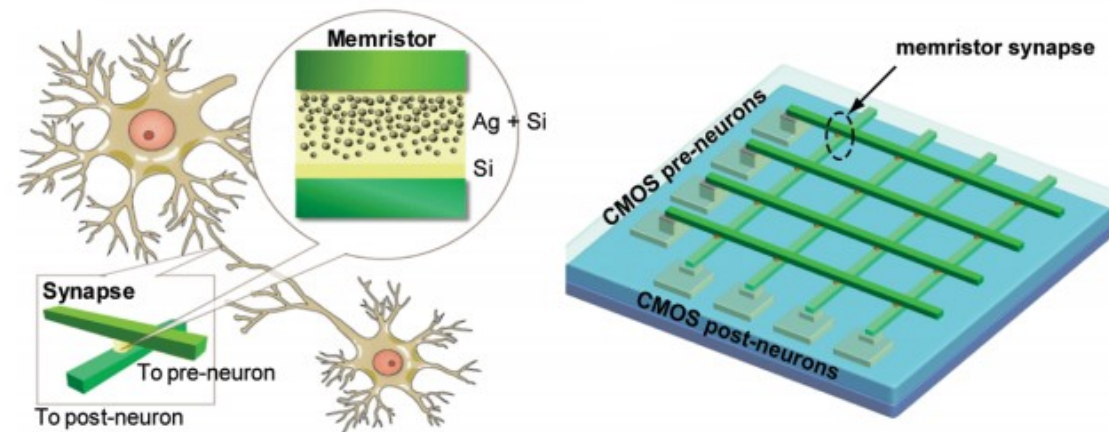


(PERSHIN; VENTRA, 2014)

# Aplicações Paralelas: Redes Neurais e Circuitos Neuromórficos

Sinapses e neurônios biológicos armazenam/processam dados ao mesmo tempo. Memelementos conseguem adequadamente **imitar todos os processos sinápticos e gerar memória associativa** com o mesmo gasto de energia e com o mesmo tamanho.

A técnica tem sido utilizada em processadores neuromórficos para imitar processamento em nível celular e em nível molecular.





# Estado Atual e Considerações Finais

- Componentes da memcomputação **já existem**. É necessário, no entanto, **refinamento da tecnologia**
- O maior problema **hoje** é saber **o tipo de sistema operacional e software** que melhor trabalhe com sistemas memcomputacionais
- As propostas atuais envolvem o uso de sistemas memcomputacionais para compor um sistema **computacional completo** ou **integrado a sistema já existente, fazendo funções específicas**

# Grato pela atenção

Rodrigo de Sousa Pissardini  
pissardini @usp.br

