# Programação Multicore

## Contexto e Motivação

Demetrios A. M. Coutinho - NADIC/IFRN

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

12-13 de maio de 2023

# Agenda

Part 1 - **Contexto e Motivação**

Part 2 - **Paralelismo de Hardware e Software**

Part 3 - **Computação Paralela com OpenMP**

Part 4 - **Computação Paralela em CUDA**

# Next

1 Sobre mim

2 Contexto

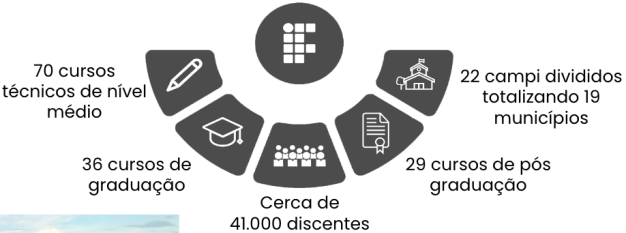
3 Motivação

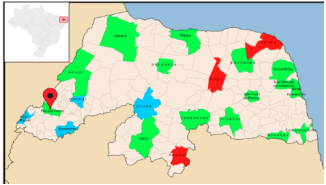
4 Aplicações

5 Resumo

# IFRN

INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO NORTE


70 cursos técnicos de nível médio
22 campi divididos totalizando 19 municípios
36 cursos de graduação
29 cursos de pós graduação
Cerca de 41.000 discentes



# Sobre mim

- Pequeno Resumo:
  - Doutor em Engenharia de Elétrica e Computação pela UFRN.
  - Desde 2012, professor do IFRN e Coordenador do curso superior TADS por 4 anos.
  - Doutorado Sanduíche na universidade de Bristol na área de software energeticamente eficiente no Reino Unido em 2021.

- Meus interesses:
  - Análise e visualização de dados.
  - Machine Learning.
  - Programação paralela e suas aplicações.
  - Computação de alto desempenho e eficiência energética.
- Onde me encontrar?
  - `https://gitlab.com/demetriosamc`
  - `https://github.com/DemetriosCoutinho`.
  - LinkedIn: `https://www.linkedin.com/in/demetrios-coutinho/`.
  - Lattes: `http://lattes.cnpq.br/6749444529357582`.

# Next


1 Sobre mim

2 Contexto

3 Motivação

4 Aplicações

5 Resumo

# Paralelismo, Um conceito Familiar

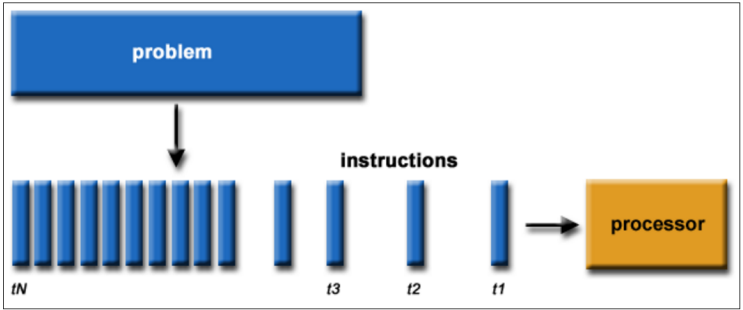
# Paralelismo, Um conceito Familiar

**Embora familiares, essas formas de paralelismo são diferentes.**

# Paralelismo na computação

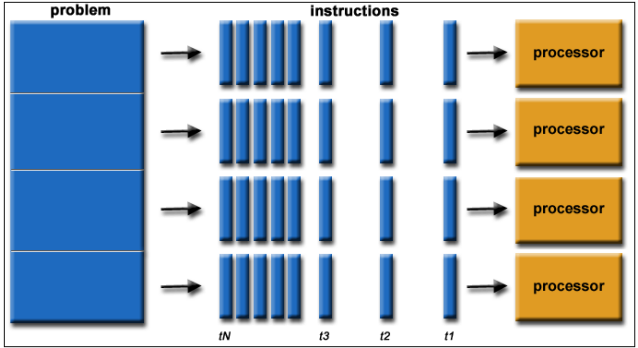
# Paralelismo na computação

Figure: Problema Serial.



# Paralelismo na computação

Figure: Problema Paralelo.



# Next


1 Sobre mim

2 Contexto

3 Motivação

4 Aplicações

5 Resumo

# O que está acontecendo na computação

**Operação de software** é um conceito bastante recente

Por décadas, o ideal era único núcleo, máxima frequência.

- Sistemas de único núcleo eram o padrão.
  - Sistemas paralelos negados pela Lei de Amdahl.
  - Crescimento exponencial de desempenho:
    - Lei de Moore → frequências de operação mais altas.
    - Melhor ILP, caches, out-of-order, hw threads.

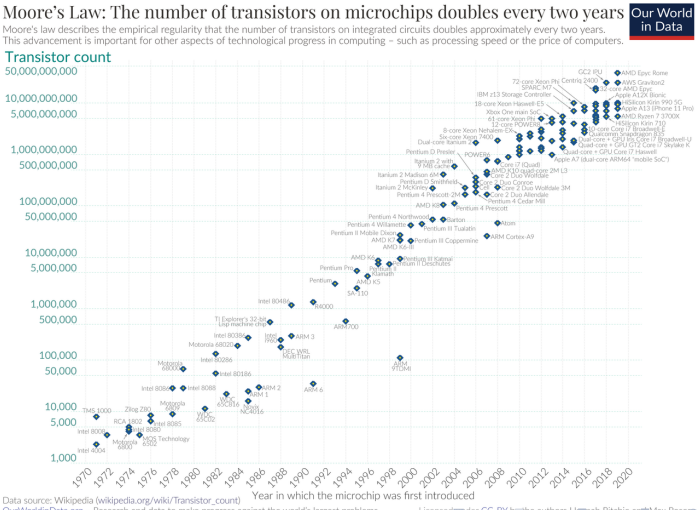
# O que está acontecendo na computação

## Energia foi mantida em níveis aceitáveis e controlados

- Densidade de energia aumentada por
  - Frequências de operação mais altas;
  - Lei de Moore: transistores menores.
- Dissipação de energia (e calor) controlada por
  - Avanços em sistemas de refrigeração → aumento na potência geral do sistema.
  - Lei de Moore: transistores menores → menos dissipação de energia por transistor.

# O que está acontecendo na computação?

Figure: Lei de Moore criada em 1965.

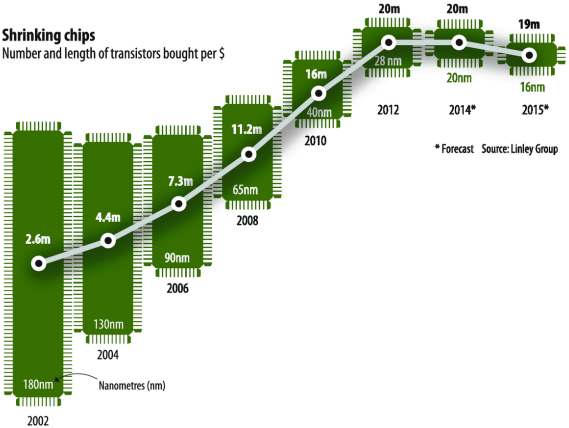



## Lei de Moore

diz que a cada 1 ano e meio a quantidade de transistores dobraria.

# O que está acontecendo na computação?

Figure: Diminuição do tamanho dos chips.

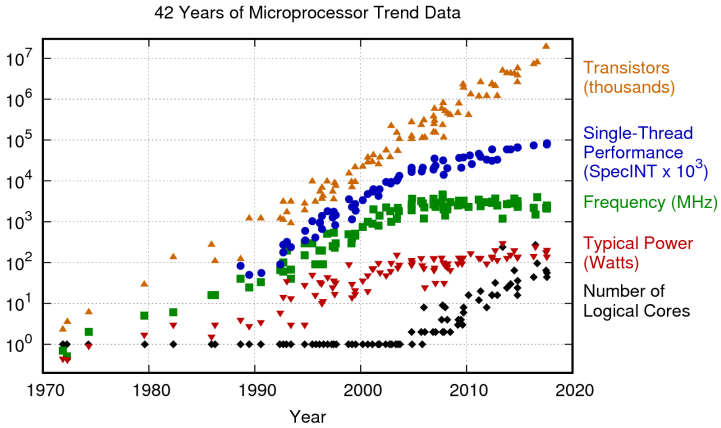



## Shrink Chips

Assumia-se que quanto mais transistores em um chip maior desempenho era adquirido.

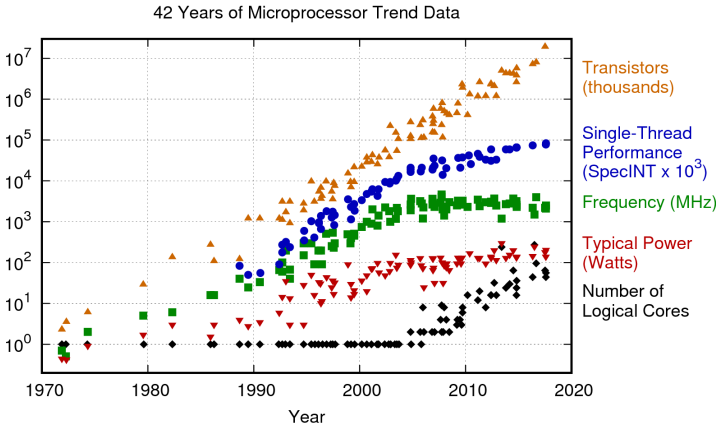
# O que está acontecendo na computação?

Figure: Historical trends in CPU performance.



# O que está acontecendo na computação?

Figure: Historical trends in CPU performance.




**Em meados dos anos 2000, a indústria percebeu que single-core era impraticável**

- Em 2030, 1 $cm^2$ de silício equivaleria a 1 $cm^2$ da superfície do sol.

# O que está acontecendo com a computação

## A **Era Multicore** nasceu

- Crescimento **sustentado** do desempenho nominal do hardware.
  - Mais núcleos de processamento → mais **desempenho nominal**.

## Desempenho Nominal X Efetivo

- **Desempenho nominal** é o desempenho máximo teórico de um sistema.
- **Desempenho efetivo** é o desempenho real observado em condições reais de uso.
- **Nem sempre** o desempenho nominal se traduz em desempenho efetivo.

O **software** desempenha um papel **crucial** por **transformar** o desempenho nominal em desempenho real.

# Como ceifar o máximo o poder computacional?

**Programação paralela se torna uma necessidade ao invés de uma alternativa.**

# It is not a piece of cake!

## Desafios da computação paralela

- Programas de computador paralelos são mais difíceis de programar que sequenciais!
- Introduz diversas novas classes de armadilhas potenciais que podem ocorrer.
- **Sincronização x Computação**

# Paralelismo e Economia de Energia na Computação

**Tecnologia da Informação e Comunicação**

Consome mundialmente cerca de 10% dos recursos energéticos.

- Toda a indústria da aviação consome apenas cerca de 3% .
- **Energia**: importante em diferentes escalas por diferentes razões:
  - **Sistemas grandes**: custos financeiros e ambientais
    por exemplo, Datacenters, Supercomputadores, infraestrutura de TI corporativa, etc.
  - **Sistemas pequenos**: autonomia de bateria/gerador, tamanho da bateria
    por exemplo, Dispositivos vestíveis, sistemas embarcados e móveis, sem fio, etc.

**Necessidade presente e futura:**

**Sistemas mais eficientes em termos de energia, grandes e pequenos.**

# Formas de reduzir o consumo de energia em sistemas de computação:

## Especialização de hardware

- ASICs, FPGA, Aceleração, etc.
- **Menor flexibilidade**

## Otimização de hardware (processadores programáveis)

- ILP, multiple issue, out-of-order issue, hw threading, etc.
- **Retornos decrescentes**

# Desafios de Energia no Software

- Dois níveis de otimização de software:
  - **projeto de software,**
  - **operação de software**

**Problema 1: Projeto de software inadequado**

⚠ pode desperdiçar grande parte dos esforços de otimização de hardware.

**Problema 2: Operação de software inadequada**

⚠ desperdício de esforços de otimização de hardware e projeto de software.

Em última análise, o hardware **é controlado por** software.

# Explorando paralelismo para economia de energia

- Paralelismo permite executar tarefas em menor frequência, mantendo a performance e reduzindo o consumo de energia.
- Redução do consumo de energia em CPUs e GPUs através do paralelismo e arquiteturas heterogêneas.
- Melhoria na eficiência energética através do uso de técnicas de computação paralela e otimizações específicas de software.

# Next


1 Sobre mim

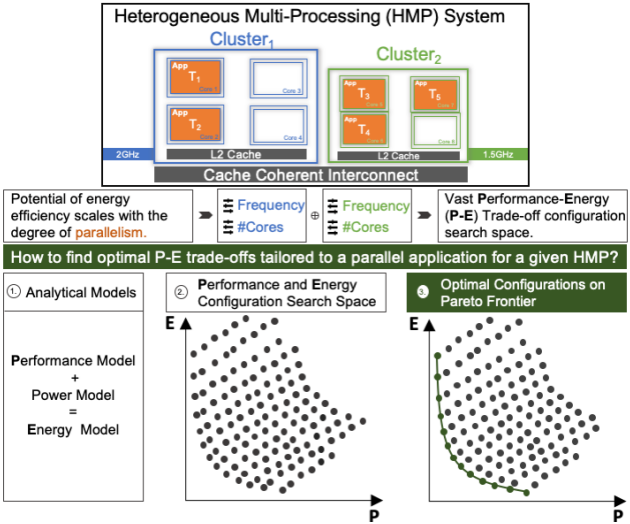
2 Contexto

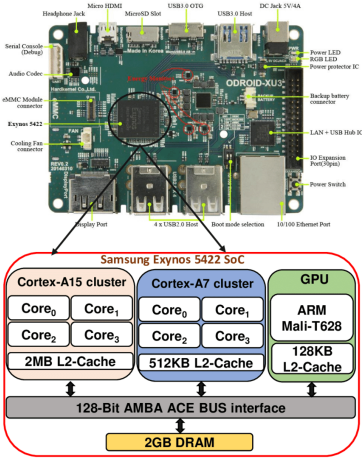
3 Motivação

4 Aplicações

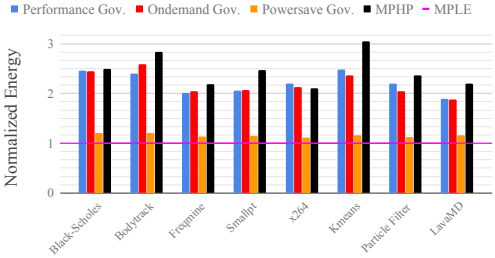
5 Resumo

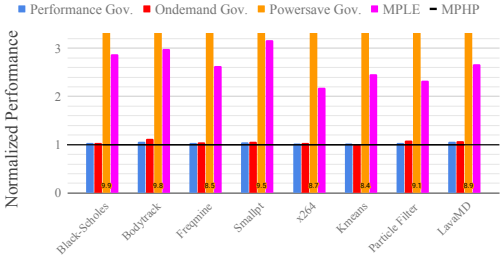
# IPerfEcT - Identificando Ponto Ótimo de Operação de Software



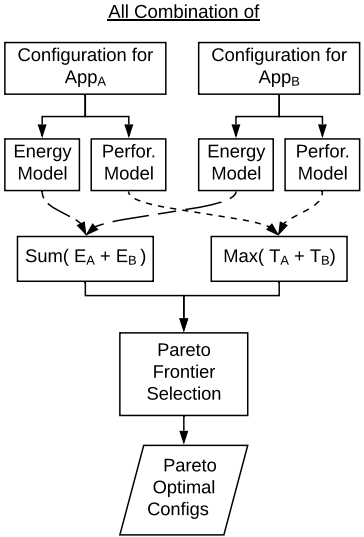
# IPerfEcT- Identificando Ponto Ótimo de Operação de Software

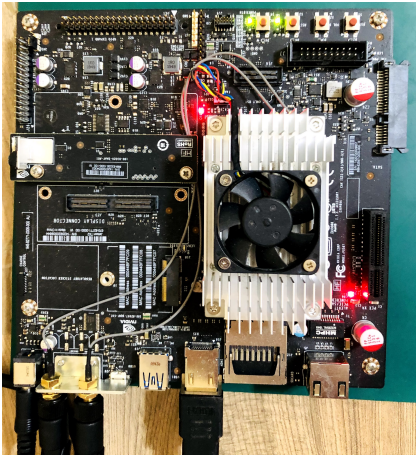


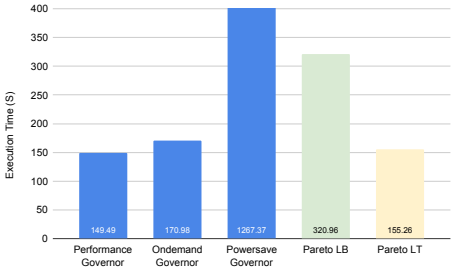

Tutorial ministrado no HiPEAC 2021:
`https://gitlab.com/lappsufrn/iperfect-tutorial`

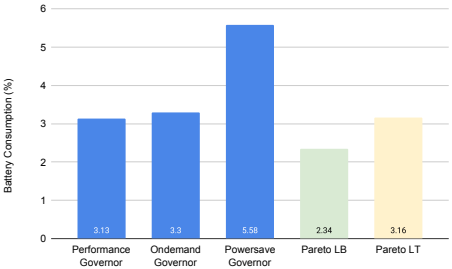
# IPerfEcT - Drone Use Case with GPU



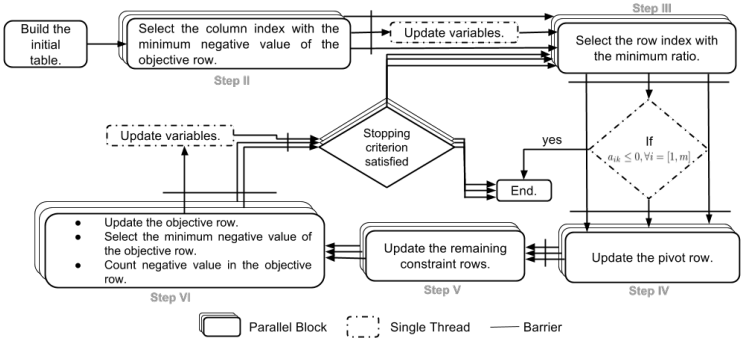
# IPerfEcT - Uso de Caso do uso de Drone




Tutorial ministrado no HiPEAC 2021:
`https://gitlab.com/lappsufrn/iperfect-tutorial`

# Simplex Paralelo de Memória Compartilhada

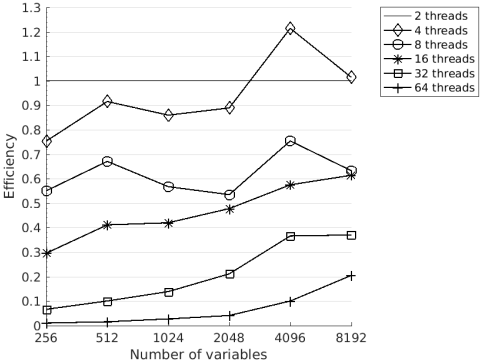



## Servidor

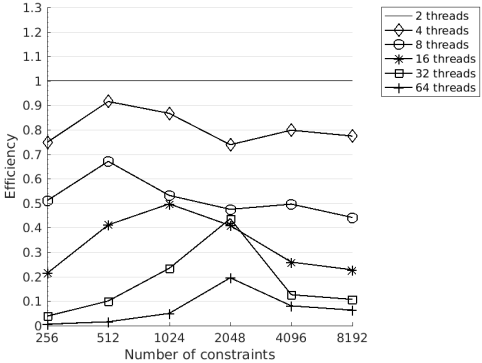
- AMD Opteron 6376 com 64 núcleos.
- 256 GB de RAM DDR3.
- 16MB de Cache L3

Paper: `https://arxiv.org/abs/1804.04737`

# Simplex Paralelo de Memória Compartilhada



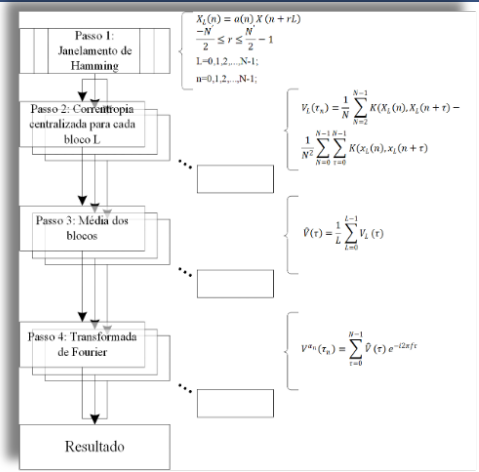

(i) Problems with 512 constraints.




(j) Problems with 512 variables.

Figure: Parallel efficiency of the proposed implementation for fixing one of the problem dimensions in 512 for primal (a) and dual (b) formulations.

# Correntropia Cíclica Multicore




Paper: https://latamt.ieeer9.org/

## Servidor

- AMD Opteron 6376 com 64 núcleos.
- 256 GB de RAM DDR3.
- 16MB de Cache L3

# Correntropia Cíclica Multicore

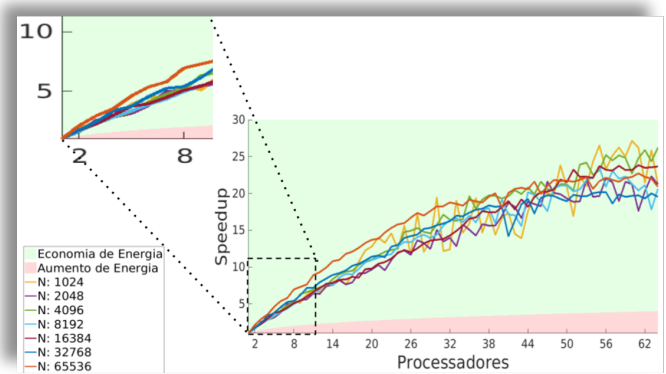
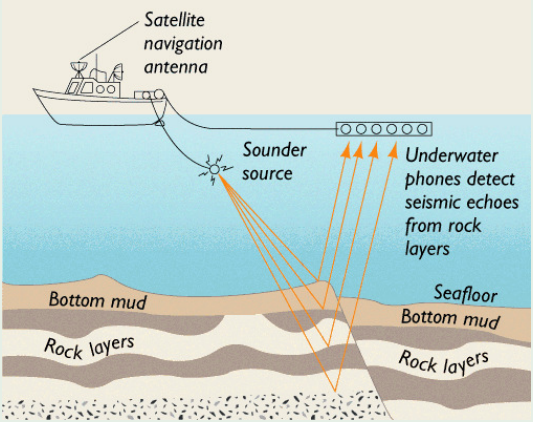



Figure: Speedups para diferentes entradas N aumentando o número de processadores.

# Processamento de dados sísmicos

## Aquisição sísmica para Exploração de petróleo e gás




## Desafios em Sismologia

- Processamento de dados sísmicos:
  - Extração de características da subsuperfície:
    - Imagem 3D
    - Velocidades de propagação da onda
    - etc
  - Desafios computacionais:
    - **Alto custo computacional**
    - **Necessidade de computação paralela em supercomputadores**

# Next


1 Sobre mim

2 Contexto

3 Motivação

4 Aplicações

5 Resumo

# O que vimos até aqui

## Computação Paralela

Fundamental para desafios computacionais atuais e futuros.

## Desenvolvimento

Requer habilidades e conhecimentos específicos.

## Aplicações

Importância e impacto na solução de problemas complexos.

# Agenda

Obrigado pela atenção ✌

## Próximos tópicos

Part 1 - ~~**Contexto e Motivação**~~

Part 2 - **Paralelismo de Hardware e Software**

Part 3 - **Computação Paralela com OpenMP**

Part 4 - **Computação Paralela em CUDA**