

Técnicas de Processamento Paralelo na Geração do Fractal de Mandelbrot

Bruno Pereira dos Santos
Dany Sanchez Dominguez
Esbel Tomás Evalero Orellana



Universidade
Estadual de Santa Cruz



Fundação de Amparo
à Pesquisa do Estado da Bahia



Roteiro

- Breve introdução sobre processamento paralelo
 - Técnicas tradicionais
- O que é CUDA?
- Problema abordado (Fractal de Mandelbrot)
- Características da Tecnologia CUDA
- Resultados Obtidos
- Conclusões e Trabalhos Futuros



Introdução

- **Processamento Paralelo**
 - Resolução de problemas computacionais de grande porte
 - Engenharia nuclear
 - Física médica
 - Bioinformática
 - Engenharia genética
 - Fontes [Aiping D, 2011] [Alonso P. 2009], [Goddeke D. 2007]
 - Redução de tempo
 - Clusters
 - Grids
- **Hardware**
 - CPU *versus* GPU



Introdução

- Técnicas tradicionais de paralelismo
 - Utilizam CPU como hardware
 - Memória compartilhada X Memória Distribuída
 - OpenMP (Open Multi Processing)
 - MPI (Message Passing Interface)



Introdução

- GPGPU (acrônimo de General-purpose Computing on Graphics Processing Units)
 - Marks Harris em 2002 definiu o uso das GPUs para fins não gráficos
 - Fonte [GPGPU.org]
- OpenCL (Open Computing Language)
 - Visa por em Prática a GPGPU
 - Framework mantido pelas empresas
 - Intel, AMD, Nvidia, Apple Inc, ATI.
 - Fonte [Nvidia - 3]



O que é CUDA?

- CUDA (Computing Unified Device Architecture)
 - Criada pela Nvidia
 - Aplicar o GPGPU nas placas da Nvidia
 - Extensão das linguagens C e C++
 - Oferece uma API
 - Driver
 - CUDA runtime e bibliotecas



Problema Computacional Abordado

- Fractal de Mandelbrot
 - Funções recursivas
 - Difícil plotagem
 - Foi o primeiro fractal a ser resolvido em um computador
 - Conjunto específico de pontos no plano complexo

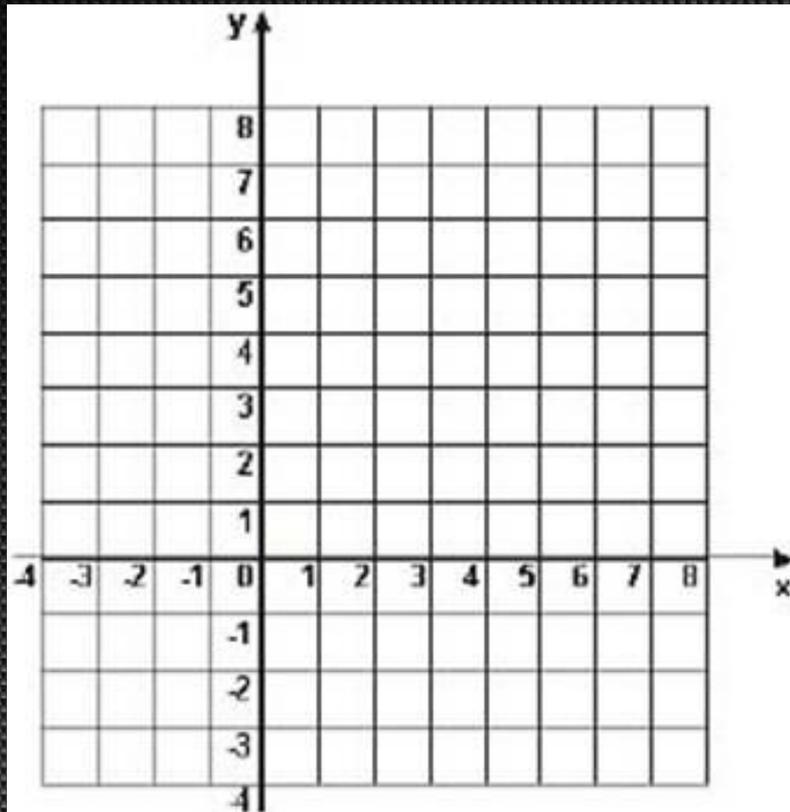


Problema Computacional Abordado

- Propriedades do Fractal de Mandelbrot
 - É definido pela recorrência do numero complexo:
 - $Z = x + yi$
 - $Z_0 = 0$
 - $Z_{(n+1)} = Z_n^2 + C$
 - Onde Z_0 e $Z_{(n+1)}$ são iterações n e $(n + 1)$
 - $C = a + bi$ fornece a posição de um ponto do plano complexo a ser iterado
 - Distância máxima de 2 da origem
 - Quantidade máxima de iterações



Problema Computacional Abordado



▪ Algoritmo

```
int Mandelbrot(complexo c){
    int i = 0, ITR = 255;
    float x = 0, y = 0, tmp = 0;
    enquanto ( $x^2 + y^2 \leq 2^2$  && i < ITR) {
        tmp =  $x^2 - y^2 + c.$  real;
        y =  $2 * x * y + c.$  img;
        i++;
    }
    se(i < ITR) retorne i;
    senão retorne 0;
}
```

Características da Tecnologia CUDA

- CUDA como um conjunto software e hardware
 - Recebe a nomenclatura SPMD para sua arquitetura paralela
 - SPMD (Single Program Multiple-Data)



Características da Tecnologia CUDA

- CUDA como um conjunto software e hardware
 - Novo modelo de compilação para arquiteturas paralelas
 - Compilador nvcc
 - Fonte [Nvidia - 2]

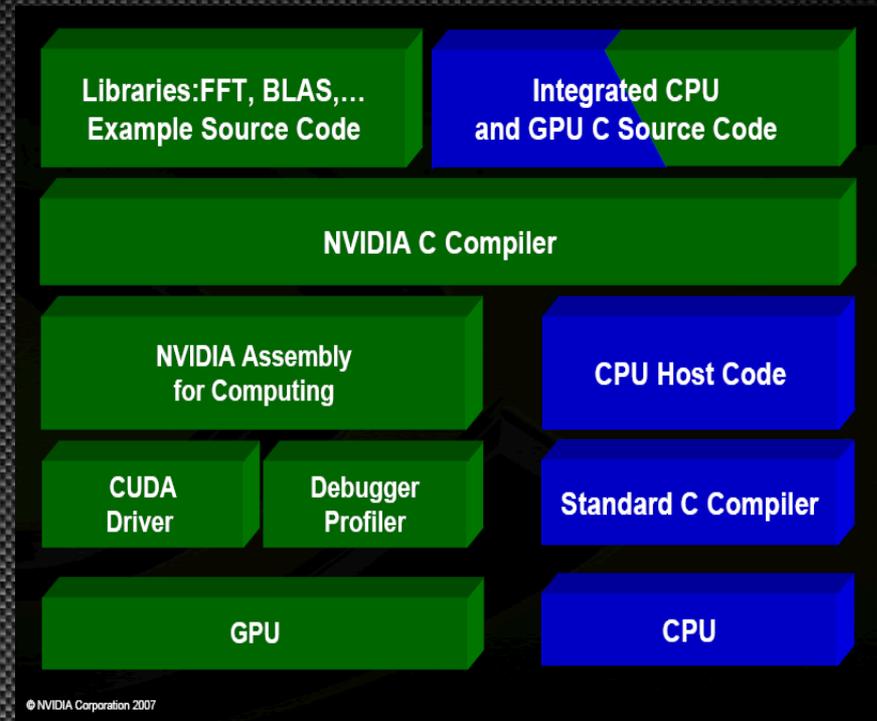


Figura 2 – Compilação [Nvidia - 1]



Características da Tecnologia CUDA

- CUDA como um conjunto software e hardware
 - Fluxo de execução

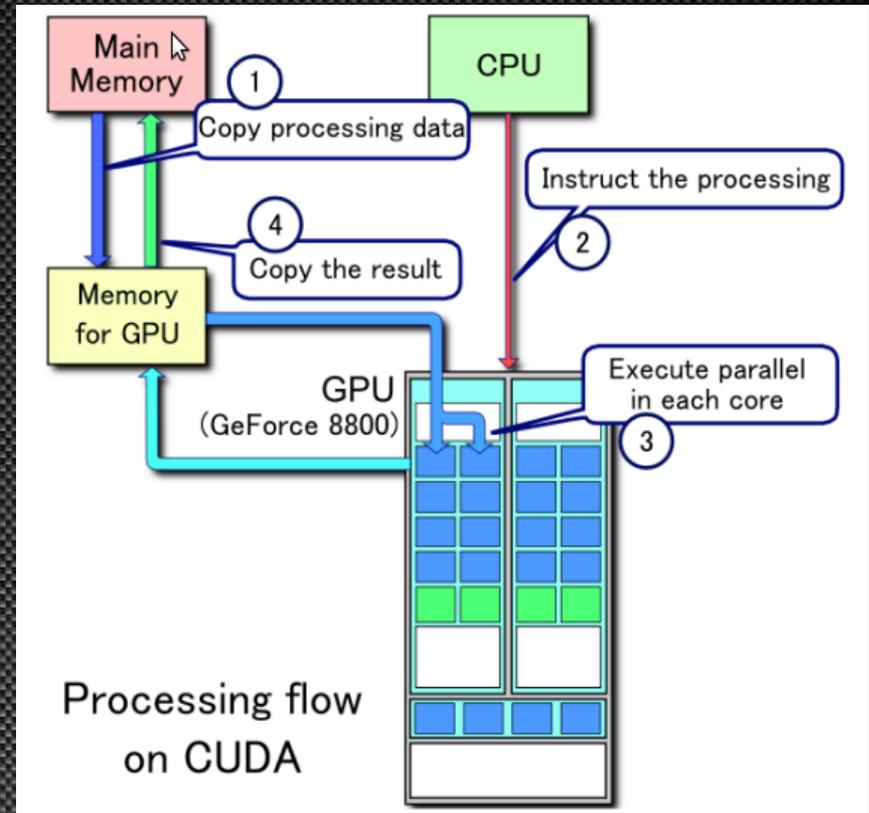
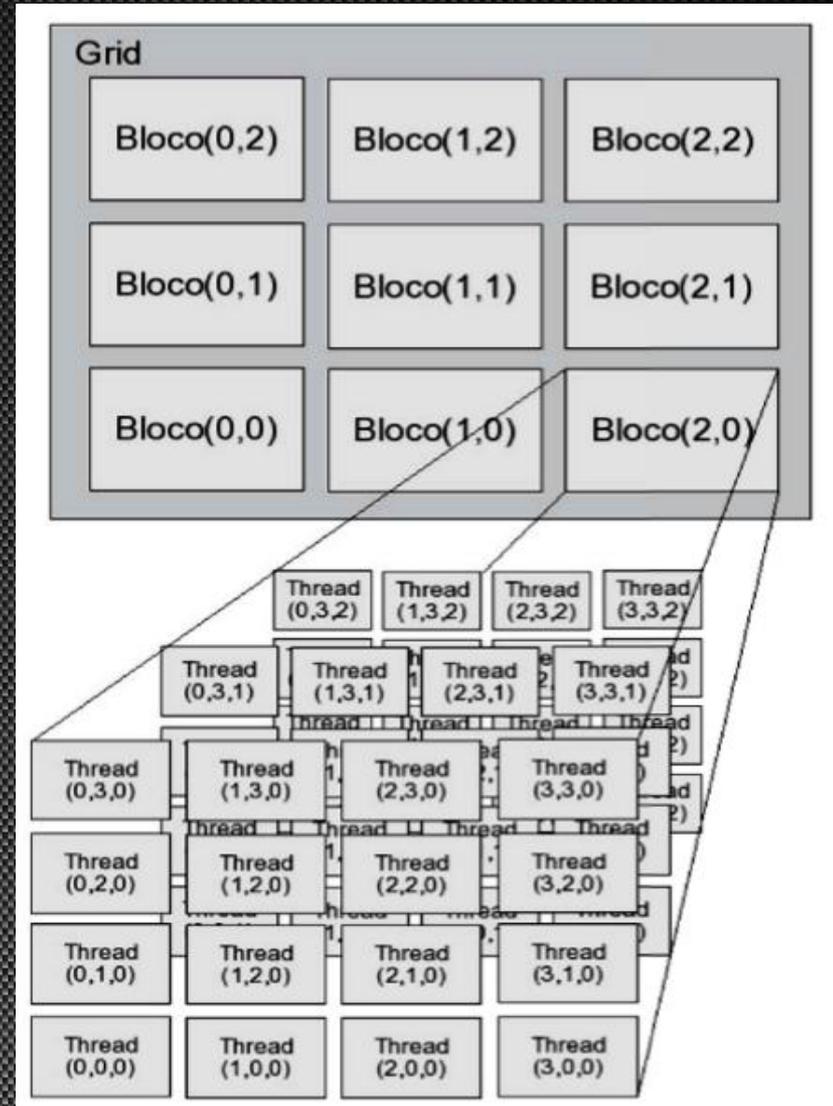


Figura 3 – Fluxo de execução [Nvidia – 1]



Características da Tecnologia CUDA

- Kernel
 - Podem ser organizados em diversas hierarquias
 - Grids formados por blocos
 - Podem ser organizados em até 2 dimensões
 - Blocos formados por threads
 - Podem ser organizados em até 3 dimensões



Características da Tecnologia CUDA

- Extensões de linguagem
 - Qualificadores de tipo
 - Função: `__global__`, `__device__`, `__host__`
 - Variável: `__device__`, `__constant__`, `__shared__`
 - Identificadores de variável threads
 - `blockIdx.x`, `blockIdx.y`
 - `threadIdx.x`, `threadIdx.y`, `threadIdx.z`
 - Nova sintaxe para chamada de funções kernel
 - `Nome_funcao<<grid, blocos>>(parametros);`



Resultados Obtidos

- Ferramentas para os experimentos numéricos
 - Máquina de testes
 - Processador intel (R) Core i7 CPU 860 2,8GHz
 - Placa gráfica Nvidia GeForce 9800GT
 - 512MB de memória principal
 - 112 cores
 - PCI-Express 16x
 - 8GB de memória RAM
 - Máquina de teste para MPI
 - 8 processadores Intel(R) Xeon(R) CPU E5520 2.27GHz
 - 16GB de memória RAM



Resultados Obtidos

SpeedUp Para processamento em CUDA

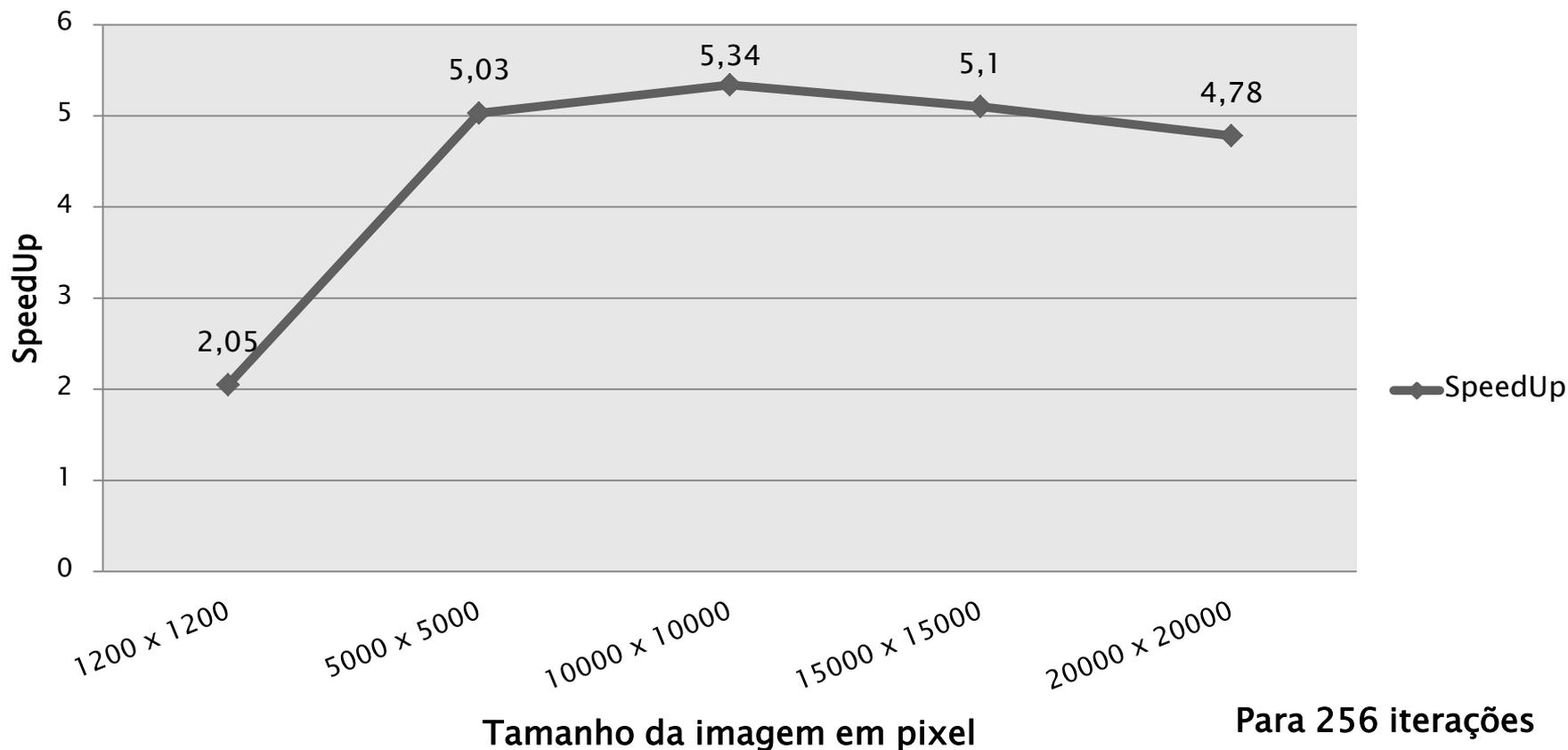


Gráfico 1 –Speedup do processamento em CUDA com diversos tamanhos de imagem para 256 iterações.



Resultados Obtidos

SpeedUp das Implementações Paralelas

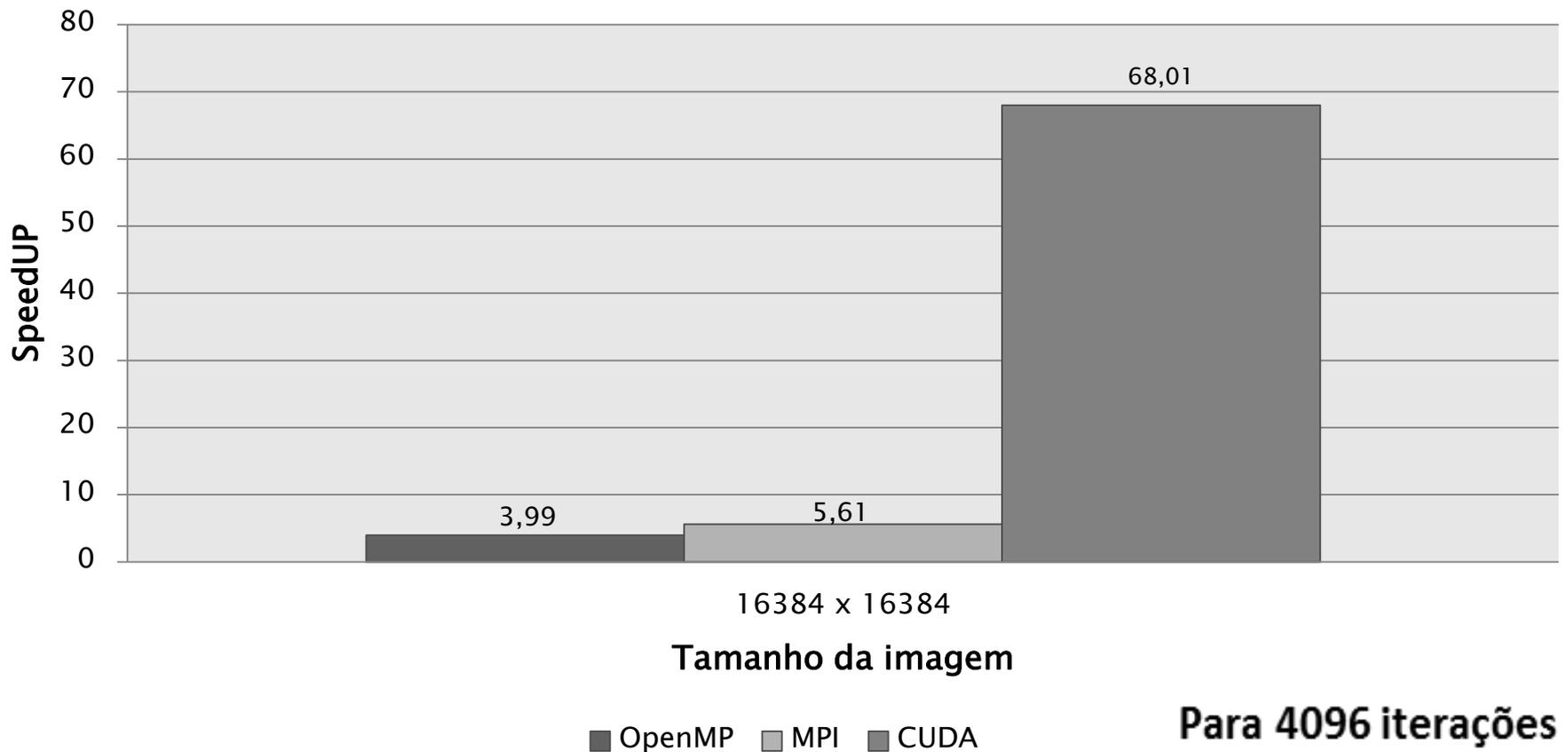


Gráfico 2 –Speedup comparativo entre os códigos paralelos para 4096 iterações.



Conclusões

- Ganho significativo
 - Desempenho CUDA
 - Custo pelo hardware
 - Alocação de espaço físico para a máquina
- Desafios
 - Absorção das diretivas introduzidas pela biblioteca CUDA
 - O modelo de arquitetura SPMD
 - Programação com threads
- Conquistas
 - Frameworks para padronização
 - Difusão no meio acadêmico
 - Introdução da tecnologia em computadores de grande porte
 - Criou-se competências no GPMAC\UESC na tecnologia GPU



Agradecimentos



Universidade
Estadual de Santa Cruz

fapesb



Fundação de Amparo
à Pesquisa do Estado da Bahia



Dúvidas

