

Programação Concorrente e Distribuída

Atividade de Programação 1:

Jogo da Vida - PThreads/OpenMP/JavaThreads

Lucas Daher Santos (114830)
Daniel Barbosa Silva Costa (112185)
Bruno Campos (111779)

Dezembro de 2020

1 Descrição do problema

O Jogo da Vida (1), criado por John H. Conway, utiliza um autômato celular para simular gerações sucessivas de uma sociedade de organismos vivos. É composto por um tabuleiro bi-dimensional, infinito em qualquer direção, de células quadradas idênticas. Cada célula tem exatamente oito células vizinhas (todas as células que compartilham, com a célula original, uma aresta ou um vértice). Cada célula está em um de dois estados: viva ou morta (correspondentes aos valores 1 ou 0). Uma geração da sociedade é representada pelo conjunto dos estados das células do tabuleiro. Sociedades evoluem de uma geração para a próxima aplicando simultaneamente, a todas as células do tabuleiro, regras que estabelecem o próximo estado de cada célula. As regras são:

- Células vivas com menos de 2 (dois) vizinhas vivas morrem por abandono;
- Cada célula viva com 2 (dois) ou 3 (três) vizinhos deve permanecer viva para a próxima geração;
- Cada célula viva com 4 (quatro) ou mais vizinhos morre por superpopulação;
- Cada célula morta com exatamente 3 (três) vizinhos deve se tornar viva.

2 Descrição da atividade

Programe três (3) versões concorrentes deste código, em linguagem C/C++ utilizando PThreads, em linguagem C/C++ utilizando OpenMP, e outra em Java com JavaThreads, que implementem o Jogo da Vida sobre um tabuleiro finito, $N \times N$ com bordas infinitas, ou seja, a fronteira esquerda liga-se com a fronteira direita e a fronteira superior liga-se com a fronteira inferior.

Admita que (0,0) identifica a célula no canto superior esquerdo do tabuleiro e que (N-1,N-1) identifica a célula no canto inferior direito.

Além disso, avaliar as medidas de desempenho (tempo total de execução e apenas do laço de repetição principal) para as todas as versões do programa, variando a quantidade de *threads* para 1, 2, 4 e 8 e considerando um tabuleiro de 2048*2048 com 2000 iterações.

3 Resultados

Para geração das medidas de desempenho, foi utilizado um desktop com as seguintes configurações:

- Processador Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads);
- Memória RAM: 16 GB / 2400 MHz;
- Sistema operacional: Ubuntu 18.04 / Windows 10

Para acompanhar o funcionamento das diferentes versões, foram gerados *logs* (própria saída do código) com um intervalo de 100 em 100 para exibição das gerações, comparando com o exemplo fornecido para certificar a corretude dos algoritmos à saída esperada. Um exemplo é mostrado a seguir (todos os *logs* podem ser encontrados no apêndice).

Resultados do código serial em C (Ubuntu 18.04)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2096241 células vivas
7 Geração 1       : 1146561 células vivas
8 Geração 100     : 398175 células vivas
9 Geração 200     : 314042 células vivas
10 Geração 300    : 273273 células vivas
11 Geração 400    : 245633 células vivas
12 Geração 500    : 227784 células vivas
13 Geração 600    : 216454 células vivas
14 Geração 700    : 205007 células vivas
15 Geração 800    : 196759 células vivas
16 Geração 900    : 192292 células vivas
17 Geração 1000   : 183016 células vivas
18 Geração 1100   : 176570 células vivas
19 Geração 1200   : 171563 células vivas
20 Geração 1300   : 166481 células vivas
21 Geração 1400   : 165125 células vivas
22 Geração 1500   : 161242 células vivas
23 Geração 1600   : 158299 células vivas
24 Geração 1700   : 154812 células vivas
25 Geração 1800   : 152229 células vivas
```

26 Geração 1900 : 150735 células vivas
 27 Última geração : 146951 células vivas (2000 iterações)
 28
 29 Loop execution time: 173002 ms (WITHOUT THREADS)
 30 Total execution time: 173038 ms

Os resultados para as medidas de desempenho podem ser acompanhados nas tabelas a seguir:

Table 1: Medidas de desempenho - PThread - Ubuntu 18.04

Nº threads	Tempo(ms)	Speedup	Eficiência
Serial	173038	1	100%
1	170384	1.016	101.6%
2	97784	1.770	88.5%
4	62795	2.756	68.9%
8	63323	2.733	34.2%

Table 2: Medidas de desempenho - OpenMP - Windows 10

Nº threads	Tempo(ms)	Speedup	Eficiência
Serial	175316	1	100%
1	184443	0.951	95.1%
2	103181	1.699	85.0%
4	64016	2.739	68.5%
8	64465	2.720	34.0%

Table 3: Medidas de desempenho - Java - Ubuntu 18.04

Nº threads	Tempo(ms)	Speedup	Eficiência
Serial	165262	1	100%
1	174558	0.947	94.7%
2	87398	1.891	94.6%
4	49200	3.359	84.0%
8	53969	3.062	38.3%

References

- 1 GARDNER, M. *The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game 'life'*. Acessado em: 02.12.2020. Disponível em: http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Produzieren/lis_projekt/proj_gamelife/ConwayScientificAmerican.htm.

Apêndice

OBS: Ao longo dos *logs* é possível observar duas diferentes gerações iniciais, mesmo seguindo as *seeds* e guias disponibilizados para a realização da atividade. Isso deve-se ao fato da implementação da função de randomização implementada por parte do sistema e/ou linguagem utilizada.

Nos testes realizados na linguagem C (utilizando OpenMP), no sistema operacional Windows 10, e na linguagem Java, tanto no sistema operacional Windows 10 quanto Ubuntu 18.04, bem como em um compilador online (OnlineGDB), as gerações iniciaram com 2097152 células vivas. Mas, como esperado, todos os programas obtiveram o mesmos resultados intermediários e finais, com relação ao número de células vivas.

Já nos testes realizados na linguagem C (utilizando PThread), no sistema operacional Ubuntu 18.04, a população inicial seguiu àquela mostrada no pdf de guia para a realização da atividade, ou seja, 2096241 células vivas. Os resultados intermediários e finais também se mostraram corretos.

A Logs/Saídas - C com PThread - Ubuntu 18.04

A.1 Serial

Saída do código serial em C

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2096241 células vivas
7 Geração 1       : 1146561 células vivas
8 Geração 100     : 398175 células vivas
9 Geração 200     : 314042 células vivas
10 Geração 300    : 273273 células vivas
11 Geração 400    : 245633 células vivas
12 Geração 500    : 227784 células vivas
13 Geração 600    : 216454 células vivas
14 Geração 700    : 205007 células vivas
15 Geração 800    : 196759 células vivas
16 Geração 900    : 192292 células vivas
17 Geração 1000   : 183016 células vivas
18 Geração 1100   : 176570 células vivas
19 Geração 1200   : 171563 células vivas
20 Geração 1300   : 166481 células vivas
21 Geração 1400   : 165125 células vivas
22 Geração 1500   : 161242 células vivas
23 Geração 1600   : 158299 células vivas
24 Geração 1700   : 154812 células vivas
25 Geração 1800   : 152229 células vivas
26 Geração 1900   : 150735 células vivas
27 Última geração : 146951 células vivas (2000 iterações)
28
29 Loop execution time: 173002 ms (WITHOUT THREADS)
30 Total execution time: 173038 ms
```

A.2 PThread - Threads: 1

Saída com PThread (Threads: 1)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2096241 células vivas
7 Geração 1       : 1146561 células vivas
8 Geração 100     : 398175 células vivas
9 Geração 200     : 314042 células vivas
10 Geração 300    : 273273 células vivas
11 Geração 400    : 245633 células vivas
12 Geração 500    : 227784 células vivas
13 Geração 600    : 216454 células vivas
14 Geração 700    : 205007 células vivas
15 Geração 800    : 196759 células vivas
16 Geração 900    : 192292 células vivas
17 Geração 1000   : 183016 células vivas
18 Geração 1100   : 176570 células vivas
19 Geração 1200   : 171563 células vivas
20 Geração 1300   : 166481 células vivas
21 Geração 1400   : 165125 células vivas
22 Geração 1500   : 161242 células vivas
23 Geração 1600   : 158299 células vivas
24 Geração 1700   : 154812 células vivas
25 Geração 1800   : 152229 células vivas
26 Geração 1900   : 150735 células vivas
27 Última geração : 146951 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 170346 ms (THREADS: 1)
30 Total execution time: 170384 ms
```

A.3 PThread - Threads: 2

Saída com PThread (Threads: 2)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2096241 células vivas
7 Geração 1       : 1146561 células vivas
8 Geração 100     : 398175 células vivas
9 Geração 200     : 314042 células vivas
10 Geração 300    : 273273 células vivas
11 Geração 400    : 245633 células vivas
12 Geração 500    : 227784 células vivas
13 Geração 600    : 216454 células vivas
14 Geração 700    : 205007 células vivas
15 Geração 800    : 196759 células vivas
16 Geração 900    : 192292 células vivas
17 Geração 1000   : 183016 células vivas
18 Geração 1100   : 176570 células vivas
19 Geração 1200   : 171563 células vivas
20 Geração 1300   : 166481 células vivas
21 Geração 1400   : 165125 células vivas
22 Geração 1500   : 161242 células vivas
23 Geração 1600   : 158299 células vivas
24 Geração 1700   : 154812 células vivas
25 Geração 1800   : 152229 células vivas
26 Geração 1900   : 150735 células vivas
27 Última geração : 146951 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 97743 ms (THREADS: 2)
30 Total execution time: 97784 ms
```

A.4 PThread - Threads: 4

Saída com PThread (Threads: 4)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2096241 células vivas
7 Geração 1       : 1146561 células vivas
8 Geração 100     : 398175 células vivas
9 Geração 200     : 314042 células vivas
10 Geração 300    : 273273 células vivas
11 Geração 400    : 245633 células vivas
12 Geração 500    : 227784 células vivas
13 Geração 600    : 216454 células vivas
14 Geração 700    : 205007 células vivas
15 Geração 800    : 196759 células vivas
16 Geração 900    : 192292 células vivas
17 Geração 1000   : 183016 células vivas
18 Geração 1100   : 176570 células vivas
19 Geração 1200   : 171563 células vivas
20 Geração 1300   : 166481 células vivas
21 Geração 1400   : 165125 células vivas
22 Geração 1500   : 161242 células vivas
23 Geração 1600   : 158299 células vivas
24 Geração 1700   : 154812 células vivas
25 Geração 1800   : 152229 células vivas
26 Geração 1900   : 150735 células vivas
27 Última geração : 146951 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 62757 ms (THREADS: 4)
30 Total execution time: 62795 ms
```


A.5 PThread - Threads: 8

Saída com PThread (Threads: 8)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2096241 células vivas
7 Geração 1       : 1146561 células vivas
8 Geração 100     : 398175 células vivas
9 Geração 200     : 314042 células vivas
10 Geração 300    : 273273 células vivas
11 Geração 400    : 245633 células vivas
12 Geração 500    : 227784 células vivas
13 Geração 600    : 216454 células vivas
14 Geração 700    : 205007 células vivas
15 Geração 800    : 196759 células vivas
16 Geração 900    : 192292 células vivas
17 Geração 1000   : 183016 células vivas
18 Geração 1100   : 176570 células vivas
19 Geração 1200   : 171563 células vivas
20 Geração 1300   : 166481 células vivas
21 Geração 1400   : 165125 células vivas
22 Geração 1500   : 161242 células vivas
23 Geração 1600   : 158299 células vivas
24 Geração 1700   : 154812 células vivas
25 Geração 1800   : 152229 células vivas
26 Geração 1900   : 150735 células vivas
27 Última geração : 146951 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 63285 ms (THREADS: 8)
30 Total execution time: 63323 ms
```

B Logs/Saídas - C com OpenMP - Windows 10

B.1 Serial

Saída do código serial em C

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Windows 10
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1      : 1148448 células vivas
8 Geração 100    : 391424 células vivas
9 Geração 200    : 321728 células vivas
10 Geração 300   : 280384 células vivas
11 Geração 400   : 272992 células vivas
12 Geração 500   : 245248 células vivas
13 Geração 600   : 232384 células vivas
14 Geração 700   : 221472 células vivas
15 Geração 800   : 220864 células vivas
16 Geração 900   : 202016 células vivas
17 Geração 1000  : 193152 células vivas
18 Geração 1100  : 184384 células vivas
19 Geração 1200  : 181280 células vivas
20 Geração 1300  : 170144 células vivas
21 Geração 1400  : 157056 células vivas
22 Geração 1500  : 164512 células vivas
23 Geração 1600  : 149344 células vivas
24 Geração 1700  : 152608 células vivas
25 Geração 1800  : 136864 células vivas
26 Geração 1900  : 130272 células vivas
27 Última geração : 126368 células vivas (2000 iterações)
28
29 Loop execution time: 175258 ms (WITHOUT THREADS)
30 Total execution time: 175316 ms
```

B.2 OpenMP - Threads: 1

Saída com OpenMP (Threads: 1)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Windows 10
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1148448 células vivas
8 Geração 100     : 391424 células vivas
9 Geração 200     : 321728 células vivas
10 Geração 300    : 280384 células vivas
11 Geração 400    : 272992 células vivas
12 Geração 500    : 245248 células vivas
13 Geração 600    : 232384 células vivas
14 Geração 700    : 221472 células vivas
15 Geração 800    : 220864 células vivas
16 Geração 900    : 202016 células vivas
17 Geração 1000   : 193152 células vivas
18 Geração 1100   : 184384 células vivas
19 Geração 1200   : 181280 células vivas
20 Geração 1300   : 170144 células vivas
21 Geração 1400   : 157056 células vivas
22 Geração 1500   : 164512 células vivas
23 Geração 1600   : 149344 células vivas
24 Geração 1700   : 152608 células vivas
25 Geração 1800   : 136864 células vivas
26 Geração 1900   : 130272 células vivas
27 Última geração : 126368 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 184387 ms (THREADS: 1)
30 Total execution time: 184443 ms
```

B.3 OpenMP - Threads: 2

Saída com OpenMP (Threads: 2)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Windows 10
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1148448 células vivas
8 Geração 100     : 391424 células vivas
9 Geração 200     : 321728 células vivas
10 Geração 300    : 280384 células vivas
11 Geração 400    : 272992 células vivas
12 Geração 500    : 245248 células vivas
13 Geração 600    : 232384 células vivas
14 Geração 700    : 221472 células vivas
15 Geração 800    : 220864 células vivas
16 Geração 900    : 202016 células vivas
17 Geração 1000   : 193152 células vivas
18 Geração 1100   : 184384 células vivas
19 Geração 1200   : 181280 células vivas
20 Geração 1300   : 170144 células vivas
21 Geração 1400   : 157056 células vivas
22 Geração 1500   : 164512 células vivas
23 Geração 1600   : 149344 células vivas
24 Geração 1700   : 152608 células vivas
25 Geração 1800   : 136864 células vivas
26 Geração 1900   : 130272 células vivas
27 Última geração : 126368 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 103124 ms (THREADS: 2)
30 Total execution time: 103181 ms
```

B.4 OpenMP - Threads: 4

Saída com OpenMP (Threads: 4)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Windows 10
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1148448 células vivas
8 Geração 100     : 391424 células vivas
9 Geração 200     : 321728 células vivas
10 Geração 300    : 280384 células vivas
11 Geração 400    : 272992 células vivas
12 Geração 500    : 245248 células vivas
13 Geração 600    : 232384 células vivas
14 Geração 700    : 221472 células vivas
15 Geração 800    : 220864 células vivas
16 Geração 900    : 202016 células vivas
17 Geração 1000   : 193152 células vivas
18 Geração 1100   : 184384 células vivas
19 Geração 1200   : 181280 células vivas
20 Geração 1300   : 170144 células vivas
21 Geração 1400   : 157056 células vivas
22 Geração 1500   : 164512 células vivas
23 Geração 1600   : 149344 células vivas
24 Geração 1700   : 152608 células vivas
25 Geração 1800   : 136864 células vivas
26 Geração 1900   : 130272 células vivas
27 Última geração : 126368 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 63962 ms (THREADS: 4)
30 Total execution time: 64016 ms
```

B.5 OpenMP - Threads: 8

Saída com OpenMP (Threads: 8)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Windows 10
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1148448 células vivas
8 Geração 100     : 391424 células vivas
9 Geração 200     : 321728 células vivas
10 Geração 300    : 280384 células vivas
11 Geração 400    : 272992 células vivas
12 Geração 500    : 245248 células vivas
13 Geração 600    : 232384 células vivas
14 Geração 700    : 221472 células vivas
15 Geração 800    : 220864 células vivas
16 Geração 900    : 202016 células vivas
17 Geração 1000   : 193152 células vivas
18 Geração 1100   : 184384 células vivas
19 Geração 1200   : 181280 células vivas
20 Geração 1300   : 170144 células vivas
21 Geração 1400   : 157056 células vivas
22 Geração 1500   : 164512 células vivas
23 Geração 1600   : 149344 células vivas
24 Geração 1700   : 152608 células vivas
25 Geração 1800   : 136864 células vivas
26 Geração 1900   : 130272 células vivas
27 Última geração : 126368 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 64410 ms (THREADS: 8)
30 Total execution time: 64465 ms
```

C Logs/Saídas - Java - Ubuntu 18.04

C.1 Java - Serial

Saída do código serial em Java

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1133104 células vivas
8 Geração 100     : 383120 células vivas
9 Geração 200     : 302016 células vivas
10 Geração 300    : 265616 células vivas
11 Geração 400    : 239840 células vivas
12 Geração 500    : 211312 células vivas
13 Geração 600    : 194768 células vivas
14 Geração 700    : 185200 células vivas
15 Geração 800    : 179248 células vivas
16 Geração 900    : 172192 células vivas
17 Geração 1000   : 170400 células vivas
18 Geração 1100   : 170400 células vivas
19 Geração 1200   : 164720 células vivas
20 Geração 1300   : 176128 células vivas
21 Geração 1400   : 172144 células vivas
22 Geração 1500   : 169136 células vivas
23 Geração 1600   : 164464 células vivas
24 Geração 1700   : 166544 células vivas
25 Geração 1800   : 160464 células vivas
26 Geração 1900   : 151520 células vivas
27 Última geração : 149488 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 165216 ms (NO THREADS)
30 Total execution time: 165262 ms
```

C.2 Java - Threads: 1

Saída do código concorrente em Java (Threads: 1)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1133104 células vivas
8 Geração 100     : 383120 células vivas
9 Geração 200     : 302016 células vivas
10 Geração 300    : 265616 células vivas
11 Geração 400    : 239840 células vivas
12 Geração 500    : 211312 células vivas
13 Geração 600    : 194768 células vivas
14 Geração 700    : 185200 células vivas
15 Geração 800    : 179248 células vivas
16 Geração 900    : 172192 células vivas
17 Geração 1000   : 170400 células vivas
18 Geração 1100   : 170400 células vivas
19 Geração 1200   : 164720 células vivas
20 Geração 1300   : 176128 células vivas
21 Geração 1400   : 172144 células vivas
22 Geração 1500   : 169136 células vivas
23 Geração 1600   : 164464 células vivas
24 Geração 1700   : 166544 células vivas
25 Geração 1800   : 160464 células vivas
26 Geração 1900   : 151520 células vivas
27 Última geração : 149488 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 174477 ms (THREADS: 1)
30 Total execution time: 174558 ms
```


C.3 Java - Threads: 2

Saída do código concorrente em Java (Threads: 2)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1133104 células vivas
8 Geração 100     : 383120 células vivas
9 Geração 200     : 302016 células vivas
10 Geração 300    : 265616 células vivas
11 Geração 400    : 239840 células vivas
12 Geração 500    : 211312 células vivas
13 Geração 600    : 194768 células vivas
14 Geração 700    : 185200 células vivas
15 Geração 800    : 179248 células vivas
16 Geração 900    : 172192 células vivas
17 Geração 1000   : 170400 células vivas
18 Geração 1100   : 170400 células vivas
19 Geração 1200   : 164720 células vivas
20 Geração 1300   : 176128 células vivas
21 Geração 1400   : 172144 células vivas
22 Geração 1500   : 169136 células vivas
23 Geração 1600   : 164464 células vivas
24 Geração 1700   : 166544 células vivas
25 Geração 1800   : 160464 células vivas
26 Geração 1900   : 151520 células vivas
27 Última geração : 149488 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 87332 ms (THREADS: 2)
30 Total execution time: 87398 ms
```

C.4 Java - Threads: 4

Saída do código concorrente em Java (Threads: 4)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1133104 células vivas
8 Geração 100     : 383120 células vivas
9 Geração 200     : 302016 células vivas
10 Geração 300    : 265616 células vivas
11 Geração 400    : 239840 células vivas
12 Geração 500    : 211312 células vivas
13 Geração 600    : 194768 células vivas
14 Geração 700    : 185200 células vivas
15 Geração 800    : 179248 células vivas
16 Geração 900    : 172192 células vivas
17 Geração 1000   : 170400 células vivas
18 Geração 1100   : 170400 células vivas
19 Geração 1200   : 164720 células vivas
20 Geração 1300   : 176128 células vivas
21 Geração 1400   : 172144 células vivas
22 Geração 1500   : 169136 células vivas
23 Geração 1600   : 164464 células vivas
24 Geração 1700   : 166544 células vivas
25 Geração 1800   : 160464 células vivas
26 Geração 1900   : 151520 células vivas
27 Última geração : 149488 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 49133 ms (THREADS: 4)
30 Total execution time: 49200 ms
```

C.5 Java - Threads: 8

Saída do código concorrente em Java (Threads: 8)

```
1 System Specs
2 Processor: Intel Core i3-8100 (6 MB Cache / 4 Cores / 4 Threads)
3 RAM: 16 GB / 2400 MHz
4 OS: Ubuntu 18.04
5
6 Geração inicial : 2097152 células vivas
7 Geração 1       : 1133104 células vivas
8 Geração 100     : 383120 células vivas
9 Geração 200     : 302016 células vivas
10 Geração 300    : 265616 células vivas
11 Geração 400    : 239840 células vivas
12 Geração 500    : 211312 células vivas
13 Geração 600    : 194768 células vivas
14 Geração 700    : 185200 células vivas
15 Geração 800    : 179248 células vivas
16 Geração 900    : 172192 células vivas
17 Geração 1000   : 170400 células vivas
18 Geração 1100   : 170400 células vivas
19 Geração 1200   : 164720 células vivas
20 Geração 1300   : 176128 células vivas
21 Geração 1400   : 172144 células vivas
22 Geração 1500   : 169136 células vivas
23 Geração 1600   : 164464 células vivas
24 Geração 1700   : 166544 células vivas
25 Geração 1800   : 160464 células vivas
26 Geração 1900   : 151520 células vivas
27 Última geração : 149488 células vivas (2000 iterações)
28
29 Threads execution time: 53875 ms (THREADS: 8)
30 Total execution time: 53969 ms
```