

Paradigmas de Computação Paralela

Relatório de Desenvolvimento

11 de Janeiro de 2020

# Conteúdo

0.1	Introdução . . . . .	2
0.2	Implementação do algoritmo paralelo . . . . .	2
0.3	Demonstração e Análise de Resultados . . . . .	2
0.4	Conclusão . . . . .	4
0.5	Autores . . . . .	4
<b>1</b>	<b>Anexos</b>	<b>5</b>

## 0.1 Introdução

Este trabalho, realizado no âmbito da Unidade Curricular de Paradigmas da Computação Paralela, tem como principal objetivo a melhoria da versão OpenMP do algoritmo trabalhado ao longo do semestre (multiplicação de matrizes esparsas por vetores), melhoria essa que é efetuada usando a versão 4.0 do OpenMP

## 0.2 Implementação do algoritmo paralelo

A alteração feita em relação ao algoritmo anterior foi o acréscimo da diretiva `pragma omp proc_bind (spread—close—master)`.

A diretiva `OMP_PROC_BIND` controla a política de afinidade de threads e se as threads do OpenMP podem ser movidas entre locais. Com o recurso à afinidade de threads, tem-se um controle refinado de como as threads são vinculados e distribuídas pelos locais. Como a máquina usada para este trabalho é NUMA, esta distribuição de threads pode ter um grande impacto na performance. Existem três políticas de afinidade de threads: MASTER, CLOSE e SPREAD.

A política de afinidade de threads MASTER faz com que cada thread da "team" sejam alocados para o mesmo local que a master. Já a política de afinidade de threads CLOSE faz com que as threads sejam alocadas para locais próximos da thread pai. Por outro lado, o objetivo da política de afinidade de threads SPREAD é criar uma distribuição esparsa para a "team" de T threads entre os P locais do local de partição da thread pai.

A diretiva `OMP_PLACES` define o posicionamento da thread que pode ser especificado usando um nome abstrato ou por uma lista explícita dos locais. Esses nomes abstratos podem ser sockets, cores, threads. Nos sockets, o local corresponde a um único socket. Nas threads cada local corresponde a um único hardware thread. Por último, nos cores corresponde a um núcleo único com o número correspondente hardware threads.

## 0.3 Demonstração e Análise de Resultados

Após o desenvolvimento da solução para o problema, foram efetuados vários testes para perceber melhor o comportamento do algoritmo, em termos de melhoria de performance em relação à versão realizada no primeiro trabalho. Para uma melhor comparação foi usado o mesmo nodo, o 662, com 24 cores, 48 com Hyperthreading, para a apresentação dos resultados.

A realização dos testes levou em consideração os mesmos aspetos do primeiro trabalho com exceção do número de testes necessários para o cálculo da mediana que foram cinco para este trabalho em vez de dez. Foram realizados testes para as políticas de afinidade *close*, *spread* e *master* e para cada uma recorreu-se a `omp_places` para sockets, cores e threads. No entanto, os resultados apresentados dizem respeito aos melhores tempos obtidos para cada política: para *close* e *spread* os melhores valores foram a usar *threads* e para a *master* os melhores valores foram a usar *sockets*.

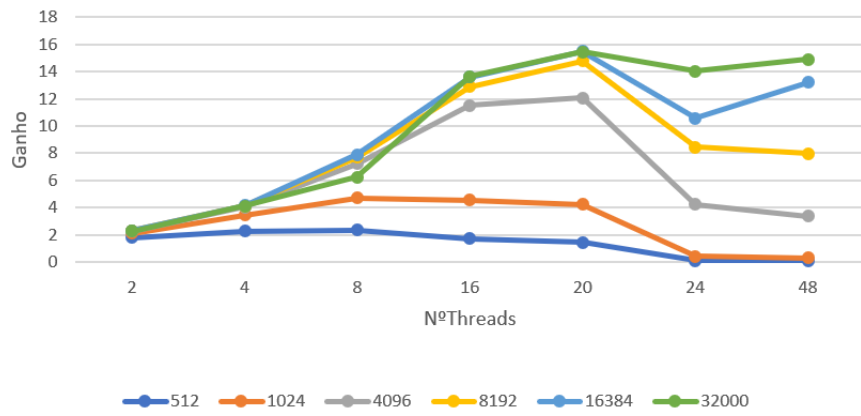


Figura 1: Ganho usando close

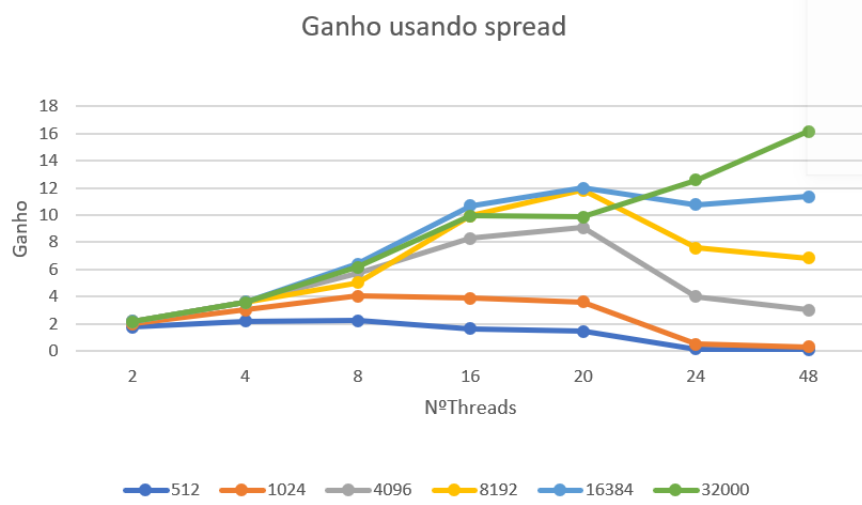


Figura 2: Ganho usando spread

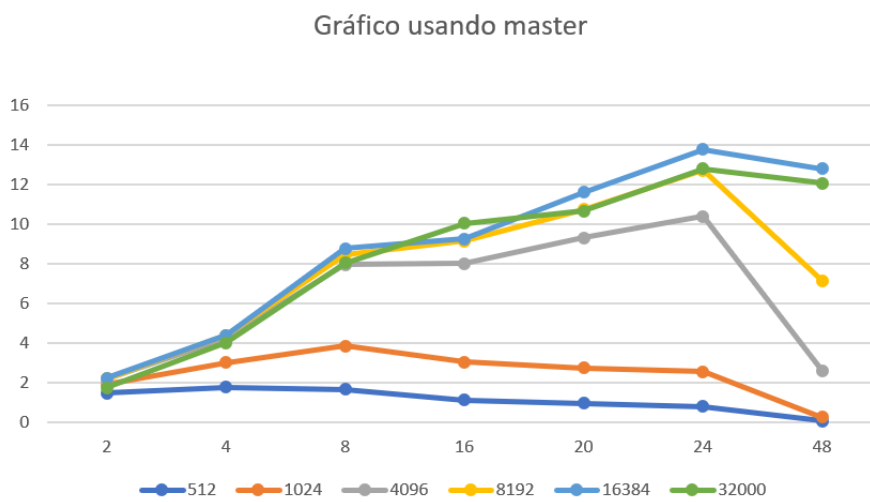


Figura 3: Ganho usando master

### **Matriz com tamanho 512 e 1024**

Para os tamanhos 512 e 1024 podemos observar pelo gráfico que não é possível obter um ganho significativo, embora se note uma ligeira melhoria no mesmo de uma matriz com tamanho 512 para 1024. À medida que se aumenta o número de cores existe perda da performance. Isto acontece devido ao overhead que o array auxiliar provoca, assim como a respetiva redução dos vários arrays no array resultado.

### **Matriz com tamanho 4096 e 8192**

Para tamanho 4096 da matriz verificou-se melhorias nos tempos de execução até aos 20 cores, sendo esse aumento mais acentuado quando se usa master.

Para ambos os gráficos, a matriz de tamanho 8192 apresenta uma curva de ganho semelhante a 4096 em termos de formato na qual até 20 cores existem melhorias nos tempos obtidos. A melhoria é mínima e é devido a uma melhor utilização do array auxiliar a cada thread que compensa o overhead que este cria pois possui muitos mais dados para analisar. A partir dos 20 cores é possível observar perde de performance pois é preciso grande quantidade dados da memória.

### **Matriz com tamanho 16384 e 32000**

Em ambos os gráficos, as matrizes de tamanho 16384 e 32000 possuem um comportamento semelhante. Observa-se que os ganhos são maiores em 16384 até aos 20 cores quando se usa master e até aos 24 cores quando se usa spread devido à maneira como as threads são distribuídas pelos locais dependendo da política de afinidade usada, atingindo o pico máximo de 16,2 para 48 threads.

## **0.4 Conclusão**

Com a realização deste trabalho aprofundamos os nossos conhecimentos sobre as diversas mudanças que estiveram na origem do *OpenMP 4.0*.

A produção do algoritmo paralelo em relação ao anterior foi relativamente simples, no entanto o grupo verificou bastantes melhorias na performance como se pode observar pela melhor curva de escalabilidade onde não houve tantas oscilações. Em relação a usar master ou spread não houve grandes diferenças como se pode ver pela semelhança da curva.

Em suma, ficámos satisfeitos com o conhecimento e experiência adquiridos nesta unidade curricular, que irão ser úteis em trabalhos futuros.

## **0.5 Autores**

- Adriana Meireles a82582
- Shazhod Yusupov a82617

# Capítulo 1

## Anexos

De seguida, segue-se os dados relativos ao tratamento do problema usando **close**.

		512							
		Sequential:	2	4	8	16	20	24	48
Medições/NºProcessos									
1		1,1261	0,6723	0,4621	0,4779	0,6438	0,7795	10,132	18,0032
2		1,0855	0,6044	0,4973	0,468	0,7156	0,7669	10,0843	17,6522
3		1,1194	0,63	0,492	0,4619	0,6928	1,328	10,0972	15,5527
4		1,1567	0,6298	0,50424	0,4841	0,6474	0,7763	10,0835	15,5296
5		1,1687	0,6146	0,501	0,4844	0,6554	0,732	10,2596	16,0981
	<b>Mediana</b>	1,1261	<b>0,6298</b>	<b>0,4973</b>	<b>0,4779</b>	<b>0,6554</b>	<b>0,7763</b>	<b>10,0972</b>	<b>16,0981</b>
	<b>Ganho</b>	1	1,78802795	2,26442791	2,3563507	1,71818737	1,450599	0,111526	0,069952

		1024							
		Sequential:	2	4	8	16	20	24	48
Medições/NºProcessos									
1		4,5655	2,2356	1,285	0,9463	0,9188	1,0821	10,4514	14,6117
2		4,536	2,0442	1,2988	0,9422	0,9809	1,0009	8,0993	15,1004
3		4,3782	2,2044	1,3002	0,9499	0,9809	1,0506	8,3152	14,7217
4		4,467	2,0365	1,4323	0,9783	1,0522	1,0657	10,5371	15,8229
5		4,3838	2,1072	1,2589	0,9713	0,9195	1,0365	10,5171	15,1946
	<b>Mediana</b>	4,467	2,1072	1,2988	0,9499	0,9809	1,0506	10,4514	15,1004
	<b>Ganho</b>	1	2,11987472	3,43932861	4,70260027	4,55398104	4,25185608	0,427407	0,29582

		4096							
		Sequential:	2	4	8	16	20	24	48
Medições/NºProcessos									
1		70,2259	30,702	17,4596	10,2269	6,5039	5,5147	17,0088	21,9679
2		69,6332	32,556	17,2487	9,9716	6,0984	5,7725	14,5018	21,1113
3		70,1187	30,6927	17,3462	9,6871	5,8755	5,8876	14,1454	16,9891
4		69,7578	31,0119	17,3285	9,4311	5,8905	5,9906	16,5716	19,5124
5		70,5484	30,5484	17,3981	9,4956	6,0924	5,8131	16,5044	20,7245
	<b>Mediana</b>	70,1187	30,702	17,3462	9,6871	6,0924	5,8131	16,5044	20,7245
	<b>Ganho</b>	1	2,28384796	4,04230898	7,23835823	11,5092082	12,0621871	4,248485	3,383372

		8192							
Medições/NºProcessos	Sequential:	2	4	8	16	20	24	48	
1		279,3756	123,6896	68,258	36,584	26,5626	22,876	33,349	30,7775
2		283,332	121,9396	67,9734	46,1296	26,103	19,063	33,0496	28,5218
3		279,8583	122,44088	85,6121	46,0016	21,513	19,7005	35,1394	38,5758
4		281,5247	123,5772	68,4632	36,1433	21,5154	18,8668	28,7701	35,3774
5		282,9914	122,3253	68,3351	36,4265	21,8354	18,946	36,4735	38,4516
	<b>Mediana</b>	281,5247	122,44088	68,3351	36,584	21,8354	19,063	33,349	35,3774
	<b>Ganho</b>	1	2,29927047	4,11976715	7,69529576	12,8930407	14,7681215	8,441773	7,957756

		16384							
Medições/NºProcessos	Sequential:	2	4	8	16	20	24	48	
1		1133,341	489,6071	272,7059	143,0544	82,3282	72,4213	84,7123	106,3238
2		1140,5268	489,7482	264,8468	143,4718	83,2854	89,1399	109,2312	83,528
3		1127,4479	490,9187	271,9011	143,024	82,6852	74,4881	107,4496	81,8535
4		1126,2989	491,2369	249,2261	144,2856	85,1793	72,1078	106,9989	85,7856
5		1275,624	489,2551	343,4499	181,1024	83,2564	73,1404	105,0624	93,7096
	<b>Mediana</b>	1133,341	489,7482	271,9011	143,4718	83,2564	73,1404	106,9989	85,7856
	<b>Ganho</b>	1	2,31413	4,16821043	7,89939905	13,6126592	15,495417	10,59208	13,21132

		32000							
Medições/NºProcessos	Sequential:	2	4	8	16	20	24	48	
1		4321,8007	1863,8034	1047,6522	694,9259	314,2441	277,0953	305,2454	290,608
2		4312,6234	1885,4956	1321,4066	693,783	315,796	279,29	279,9252	265,8043
3		4838,2451	1890,9087	1048,0432	696,7005	392,8639	333,7865	308,0687	330,5567
4		4303,973	1889,0318	1042,1244	691,3621	317,4228	341,0586	310,6831	289,9894
5		4319,7808	2290,2764	1264,5956	549,9935	316,3581	278,5099	321,755	281,1232
	<b>Mediana</b>	4319,7808	1889,0318	1048,0432	693,783	316,3581	279,29	308,0687	289,9894
	<b>Ganho</b>	1	2,28676976	4,12175834	6,22641489	13,6547185	15,4670085	14,02213	14,89634

De seguida, segue-se os dados relativos ao tratamento do problema usando **spread**.

		512							
Medições/NºProcessos	Sequential:	2	4	8	16	20	24	48	
1		1,109191	0,632999	0,525733	0,485542	0,744879	0,764453	7,88599	15,09383
2		1,091399	0,609647	0,527927	0,498519	1,232858	0,756838	7,92847	15,71825
3		1,101057	0,641656	0,498709	0,500642	0,645296	0,760915	8,94752	18,71845
4		1,158536	0,707346	0,472483	0,521157	0,677445	0,763071	7,87585	15,59344
5		1,198344	0,63594	0,505506	0,49069	0,620186	0,760915	7,87702	16,44111
	<b>Mediana</b>	1,109191	<b>0,63594</b>	<b>0,505506</b>	<b>0,498519</b>	<b>0,677445</b>	<b>0,760915</b>	<b>7,88599</b>	<b>15,71825</b>
	<b>Ganho</b>	1	1,7441756	2,1942193	2,2249724	1,6373152	1,4577068	0,14065	0,070567

		1024							
		Sequential:							
Medições/NºProcessos		2	4	8	16	20	24	48	
1		4,628049	2,270064	1,561968	1,160012	1,29179	1,25417	8,51651	15,02765
2		4,666961	2,354409	1,487411	1,235266	1,201445	1,315362	9,49374	16,42013
3		4,683063	2,341632	1,5548	1,155676	1,159685	1,292416	10,7472	16,4274
4		4,658105	2,335679	1,50523	1,153316	1,213073	1,356094	8,55578	15,18776
5		4,693146	2,335101	1,618099	1,724647	1,152949	1,228759	10,7319	14,18842
	<b>Mediana</b>	4,666961	2,335679	1,5548	1,160012	1,201445	1,292416	9,49374	15,18776
	<b>Ganho</b>	1	1,9981175	3,0016472	4,0232006	3,8844566	3,6110362	0,49158	0,307284

		4096							
		Sequential:	2	4	8	16	20	24	48
Medições/NºProcessos		2	4	8	16	20	24	48	
1		73,548865	33,861564	21,437081	12,374426	8,706185	7,533814	16,2955	21,40675
2		72,95126	33,810598	20,667682	12,405731	8,633756	7,953527	16,1325	24,45858
3		73,792937	33,996492	20,669734	12,91671	9,536111	8,082126	18,6906	24,43393
4		73,099293	33,715237	20,561455	12,769997	9,075005	8,097303	18,4973	21,98146
5		73,465267	35,342535	20,567512	12,915332	8,879968	8,361245	18,4395	24,87031
	<b>Mediana</b>	73,465267	33,861564	20,667682	12,769997	8,879968	8,082126	18,4395	24,43393
	<b>Ganho</b>	1	2,1695769	3,5545963	5,7529588	8,2731455	9,0898443	3,98412	3,00669

		8192							
		Sequential:	2	4	8	16	20	24	48
Medições/NºProcessos		2	4	8	16	20	24	48	
1		286,45601	129,86878	78,37989	46,650774	34,736489	24,216753	40,9966	42,65812
2		281,66936	129,63114	70,71522	45,908832	28,648372	24,034545	28,0929	37,67238
3		281,74042	129,47187	99,557391	56,875009	28,574586	29,44424	36,627	47,5531
4		284,94632	130,13261	79,411183	57,072538	28,345462	23,846421	37,4874	41,78895
5		285,42334	130,8673	78,646251	57,219283	29,257088	24,063032	39,5024	40,80992
	<b>Mediana</b>	284,94632	129,86878	78,646251	56,875009	28,648372	24,063032	37,4874	41,78895
	<b>Ganho</b>	1	2,1941095	3,6231393	5,0100444	9,9463356	11,841663	7,60112	6,8187

		16384							
		Sequential:	2	4	8	16	20	24	48
Medições/NºProcessos		2	4	8	16	20	24	48	
1		1387,3522	691,03286	329,18221	183,59227	108,78605	97,106802	115,307	104,0629
2		1169,1519	545,22249	327,97887	234,63376	135,44464	97,525554	110,017	103,7345
3		1186,8831	543,7189	327,69776	185,26974	108,66879	99,284046	108,643	104,3477
4		1171,1257	544,46661	327,78178	230,83759	139,9649	117,14455	119,298	108,0381
5		1185,5247	546,99119	328,64854	182,99428	110,77348	98,811326	94,0483	104,4462
	<b>Mediana</b>	1185,5247	545,22249	327,97887	185,26974	110,77348	98,811326	110,017	104,3477
	<b>Ganho</b>	1	2,174387	3,6146374	6,3989115	10,702243	11,997862	10,7758	11,3613

		32000							
		Sequential:	2	4	8	16	20	24	48
Medições/NºProcessos		2	4	8	16	20	24	48	
1		5328,2229	2613,4826	1285,3933	740,91016	415,273	389,62865	356,376	307,2101
2		4548,0262	2092,853	1266,9574	736,18253	543,83958	393,57947	361,312	272,0674
3		4538,8833	2108,0758	1576,6456	720,87545	452,49629	464,18786	418,109	268,4292
4		4564,5522	2083,4631	1153,5946	697,95554	458,03163	461,83633	360,941	300,3118
5		4319,7808	2734,1794	1255,7349	737,25441	538,56379	478,17906	415,365	281,1832
	<b>Mediana</b>	4548,0262	2108,0758	1266,9574	736,18253	458,03163	461,83633	361,312	281,1832
	<b>Ganho</b>	5408,8388	2,1574301	3,5897232	6,1778513	9,9295025	9,8477013	12,5875	16,1746



De seguida, segue-se os dados relativos ao tratamento do problema usando **master**.

		512							
Medições/NºProcessos	Sequential:	2	4	8	16	20	24	48	
1		0,6518	0,4456	0,3581	0,3896	0,5774	0,6757	2,5391	10,6713
2		0,6525	0,4511	0,3676	0,405	0,5793	0,6766	0,7662	10,1555
3		0,6465	0,4594	0,3671	0,3911	0,5792	0,6748	0,7869	10,1101
4		0,6519	0,4371	0,3648	0,4069	0,5658	0,6818	0,8111	10,1164
5		0,6444	0,4404	0,3731	0,3929	0,5547	0,6812	0,8258	10,2059
	Mediana	0,6518	0,4456	0,3671	0,3929	0,5774	0,6766	0,8111	10,1555
	Ganho	1	1,46274686	1,775538	1,6589463	1,12885348	0,96334614	0,8036	0,064182
Coluna1 ▾	Coluna2 ▾	Coluna1 ▾	Coluna2 ▾	Coluna3 ▾	Coluna4 ▾	Coluna5 ▾	Coluna6 ▾	Colun ▾	Colun ▾
		1024							
		Sequential:							
Medições/NºProcessos		2	4	8	16	20	24	48	
1		2,6108	1,3657	0,8331	0,6833	0,8735	0,9584	1,0091	10,3741
2		2,5777	1,386	0,8694	0,6498	0,8768	0,9612	1,023	10,3654
3		2,6033	1,3654	0,8564	0,6745	0,8535	0,9504	1,02	10,547
4		2,6104	1,3652	0,8667	0,6884	0,8503	0,9431	1,0271	13,0486
5		2,5907	1,3791	0,8899	0,6562	0,8485	0,9293	0,9926	10,9237
	Mediana	2,6033	1,3657	0,8667	0,6745	0,8535	0,9504	1,02	10,547
	Ganho	1	1,90620195	3,00369217	3,8595997	3,05014646	2,73916246	2,552255	0,246828
Coluna1 ▾	Coluna2 ▾	Coluna3 ▾	Coluna4 ▾	Coluna5 ▾	Coluna6 ▾	Coluna7 ▾	Coluna8 ▾	Colun ▾	Colun ▾
		4096							
Medições/NºProcessos	Sequential:	2	4	8	16	20	24	48	
1		41,0857	18,5934	9,6355	5,1541	4,991	4,3952	4,0031	13,3652
2		41,1251	18,8019	9,6805	5,1218	5,1773	4,4739	3,9523	16,0944
3		41,1136	18,813	9,5877	5,1514	5,1729	4,4148	3,951	14,024
4		41,0212	18,7688	9,7597	5,1928	5,126	4,3764	3,9379	15,7794
5		41,6826	18,7872	9,6537	5,226	5,0721	4,4238	3,9654	16,073
	Mediana	41,1136	18,7872	9,6537	5,1541	5,126	4,4148	3,9523	15,7794
	Ganho	1	2,18838358	4,25884376	7,97687278	8,02060086	9,31267555	10,40245	2,60552

Coluna1 ▾	Coluna2 ▾	Coluna3 ▾	Coluna4 ▾	Coluna5 ▾	Coluna6 ▾	Coluna7 ▾	Coluna8 ▾	Colun ▾	Colun ▾
		4096							
Medições/NºProcessos	Sequential:		2	4	8	16	20	24	48
1		41,0857	18,5934	9,6355	5,1541	4,991	4,3952	4,0031	13,3652
2		41,1251	18,8019	9,6805	5,1218	5,1773	4,4739	3,9523	16,0944
3		41,1136	18,813	9,5877	5,1514	5,1729	4,4148	3,951	14,024
4		41,0212	18,7688	9,7597	5,1928	5,126	4,3764	3,9379	15,7794
5		41,6826	18,7872	9,6537	5,226	5,0721	4,4238	3,9654	16,073
	<b>Mediana</b>	41,1136	18,7872	9,6537	5,1541	5,126	4,4148	3,9523	15,7794
	<b>Ganho</b>	1	2,18838358	4,25884376	7,97687278	8,02060086	9,31267555	10,40245	2,605524
Coluna1 ▾	Coluna2 ▾	Coluna3 ▾	Coluna4 ▾	Coluna5 ▾	Coluna6 ▾	Coluna7 ▾	Coluna8 ▾	Colun ▾	Colun ▾
		8192							
Medições/NºProcessos	Sequential:		2	4	8	16	20	24	48
1		165,044408	74,658014	37,824091	19,385039	17,947979	14,897175	12,8336	21,25857
2		164,023236	74,961136	37,256898	19,332392	17,87239	14,907219	12,91048	33,34678
3		165,089863	74,202724	37,30282	19,108603	17,816262	15,057662	12,82637	28,17401
4		163,935783	73,829059	37,281379	19,326554	18,006831	15,436442	13,3502	22,28275
5		164,030419	74,919801	37,542845	19,298179	17,909874	15,893074	12,88858	22,91757
	<b>Mediana</b>	164,030419	74,7889075	37,30282	19,3123665	17,891132	15,247052	12,88858	22,91757
	<b>Ganho</b>	1	2,19324529	4,39726592	8,49354319	9,16825269	10,7581727	12,72681	7,15741
Coluna1 ▾	Coluna2 ▾	Coluna3 ▾	Coluna4 ▾	Coluna5 ▾	Coluna6 ▾	Coluna7 ▾	Coluna8 ▾	Colun ▾	Colun ▾
		16384							
Medições/NºProcessos	Sequential:		2	4	8	16	20	24	48
1		656,829318	294,003777	150,198536	74,762402	71,08636	9757,649399	49,24724	51,241867
2		659,729675	297,270260	149,413925	74,832790	69,389565	55,910421	47,76966	50,02004
3		663,698061	295,638059	148,363534	75,262548	71,048645	56,566471	47,76593	51,3062
4		656,09246	294,714152	147,742141	75,344944	71,081845	57,739794	47,75458	58,97142
5		656,283881	294,684117	149,301083	74,598786	66,587873	57,613890	47,44561	58,238843
	<b>Mediana</b>	658,006778	294,684117	149,357504	75,012475	71,065245	56,566471	47,76593	51,3062
	<b>Ganho</b>	1	2,23292244	4,40558231	8,77196464	9,25919242	11,6324523	13,77565	12,82509