INSTITUTO FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

TSI

Gabriel Ferreira Albuquerque Rangel

George Lucas Goulart De Oliveira

Josef Ferreira Melcher

ANÁLISE DE DESEMPENHO E VISUALIZAÇÃO COMPARATIVA DE ALGORITMOS DE ORDENAÇÃO

AQUIDAUANA

2025

Gabriel Ferreira Albuquerque Rangel

George Lucas Goulart De Oliveira

Josef Ferreira Melcher

ANÁLISE DE DESEMPENHO E VISUALIZAÇÃO COMPARATIVA DE ALGORITMOS DE ORDENAÇÃO

Trabalho apresentado a Instituto Federal de Mato Grosso do Sul como primeira nota do semestre de Tecnologia em Sistemas para Internet

Orientador: Prof. Leandro Magalhães de Oliveira

AQUIDAUANA

2025

RESUMO

O presente trabalho realiza uma análise teórica e empírica comparativa de seis algoritmos de ordenação: Bubble Sort, Selection Sort, Insertion Sort (com busca binária), Merge Sort (in-place), Quick Sort (pivô aleatório) e Heap Sort. O objetivo é conectar a teoria (complexidade assintótica, estabilidade, uso de memória) com resultados práticos obtidos por uma ferramenta desenvolvida em JavaScript/Node.js que mede tempo (ms), número de comparações e número de trocas/movimentações. Apresentam-se definições, metodologia experimental, tabelas de resultados e discussão sobre limitações e implicações práticas.

Palavras-chave: algoritmos de ordenação; análise empírica; complexidade; medição; estruturas de dados.

SUMÁRIO

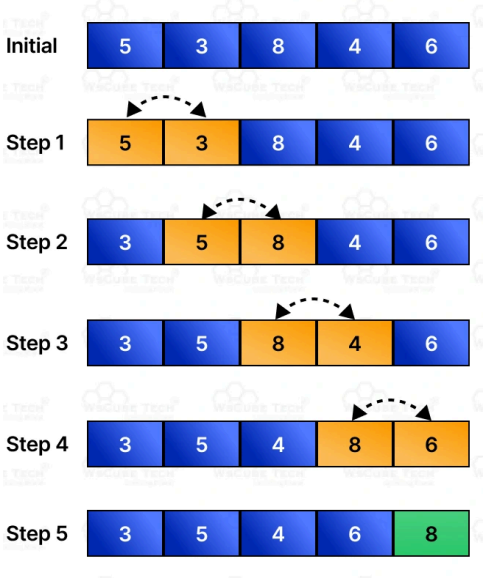
1 INTRODUÇÃO

A análise de algoritmos é fundamental para a Ciência da Computação. Entre os algoritmos mais estudados, os de ordenação desempenham papel central por serem componentes de inúmeras aplicações. Este trabalho compara seis algoritmos clássicos, relacionando teoria e prática por meio de experimentos executados com o software desenvolvido pela equipe. O objetivo é demonstrar as diferenças de desempenho em cenários diversos: vetores aleatórios, ordenados, inversamente ordenados e quase ordenados.

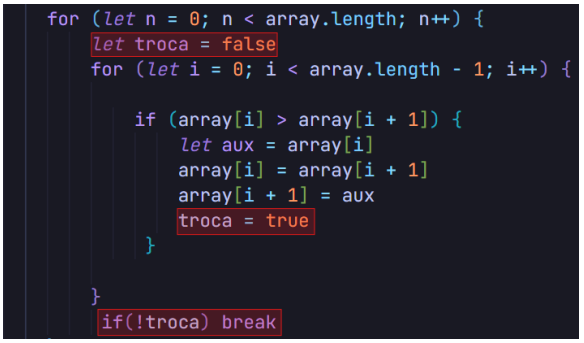
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Bubble Sort

O Bubble Sort é um dos algoritmos de ordenação mais simples e é frequentemente utilizado para fins didáticos. Ele compara duas bolhas vizinhas. Se a da esquerda for maior que a da direita, ele troca de lugar. Vai fazendo isso da esquerda até a direita, empurrando a “maior bolha” para o final da fila. Depois, repete o processo várias vezes, até que todas as bolhas estejam ordenadas.



2.1.2 Uso da Flag - Bubble Sort Otimizado



```
for (let n = 0; n < array.length; n++) {
    let troca = false
    for (let i = 0; i < array.length - 1; i++) {

        if (array[i] > array[i + 1]) {
            let aux = array[i]
            array[i] = array[i + 1]
            array[i + 1] = aux
            troca = true
        }

    }
    if(!troca) break
```

Nesse algoritmo, também é possível aplicar algumas melhorias. Uma delas é o uso de uma flag, que é uma variável que funciona como um interruptor, servindo para indicar um estado, uma condição ou para sinalizar eventos.

Nesse caso, conforme mostrado na imagem, ela é utilizada para detectar se houve alguma troca durante uma passagem do laço e, caso não tenha ocorrido, o algoritmo é encerrado mais cedo, evitando continuar comparando elementos que já estão ordenados.

2.1.3 Complexidade de Bubble Sort

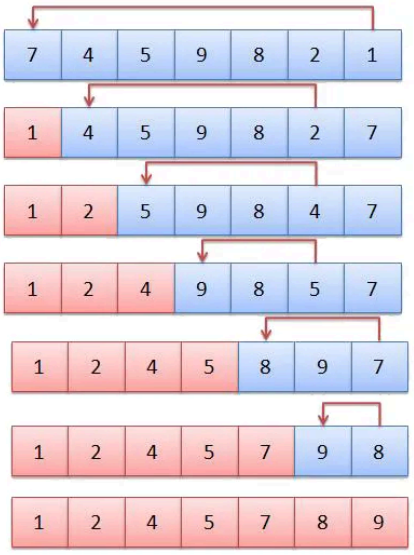
No **melhor caso**, quando o vetor já está ordenado, o Bubble Sort pode ter complexidade O(n), desde que use a flag de parada para evitar passadas desnecessárias.

No **caso médio** e no **pior caso**, a complexidade é $O(n^2)$, pois o algoritmo precisa comparar e trocar muitos elementos. O caso médio ocorre quando o vetor está em ordem aleatória. O pior caso ocorre quando o vetor está em ordem inversa, exigindo a troca de cada elemento até a chegar na posição correta, resultando no maior número possível de trocas e comparações.

2.2 Selection Sort

A ordenação por seleção é um algoritmo de ordenação baseado em se passar sempre o menor valor do vetor para a primeira posição, depois o de segundo

menor valor para a segunda posição, e assim é feito sucessivamente com os n − 1 elementos restantes, até os últimos dois elementos.



2.2.1 Double Selection Sort - Selection Sort Otimizado

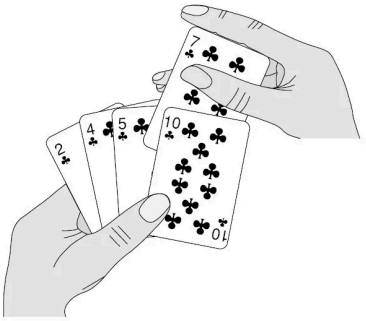
Para implementar uma melhoria nesse algoritmo, podemos utilizar o **Double Selection Sort**, essa variação otimizada faz com que em cada passagem pelo vetor, você procura tanto o menor quanto o maior elemento. Assim, em cada iteração, dois elementos vão para o lugar correto (um no início, outro no fim), e o algoritmo precisa de cerca da metade das passagens do Selection Sort comum.

2.2.2 Complexidade em Selection Sort

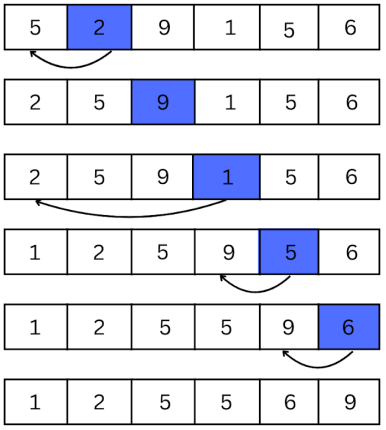
Em questão de complexidade do Selection Sort, todos os casos levam o $O(n^2)$. Independente da disposição dos dados, pois sempre percorre todo o vetor para encontrar o menor elemento em cada iteração. Contudo, por mais que a sua otimização possa reduzir o número de trocas quase pela metade, a complexidade continua sendo $O(n^2)$, porque ainda é preciso comparar todos os elementos do subarray não ordenado.

2.3 Insertion Sort

O algoritmo Insertion Sort tem como objetivo ordenar um conjunto de números de forma simples e intuitiva, funcionando de maneira semelhante a como organizamos cartas em uma mão de baralho.



Ele percorre o vetor elemento por elemento, e, para cada novo item, o insere na posição correta entre os anteriores, garantindo que a parte à esquerda esteja sempre ordenada.



Embora o Insertion Sort não seja o mais eficiente para grandes conjuntos de dados, ele é muito utilizado em contextos didáticos e também em situações onde o vetor está quase ordenado, pois nesse caso ele tem desempenho muito bom.

2.3.1 Binary Insertion Sort - Insertion Sort Otimizado

No Insertion Sort normal, para colocar um elemento no lugar certo, você vai comparando um a um com os elementos anteriores. Com inserção binária, o

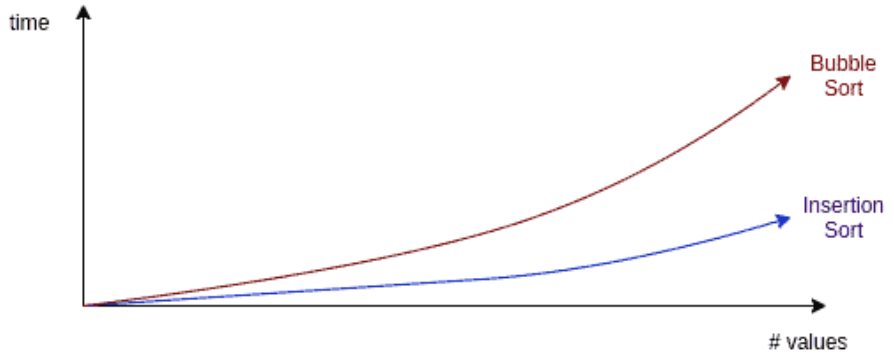
algoritmo usa busca binária no trecho já ordenado, ou seja, ele olha o elemento do meio e decide se o novo valor deve ficar à esquerda ou à direita, repetindo esse processo até encontrar o ponto exato de inserção.

Isso reduz o número de comparações de O(n) para O(log n) por inserção. Quanto maior o vetor, mais vantagem o Binary tem, porque corta pela metade cada vez. O movimento de troca dos elementos ainda é necessário, então o tempo total não muda tanto, mas as comparações diminuem.

2.3.2 Complexidade em Insertion Sort

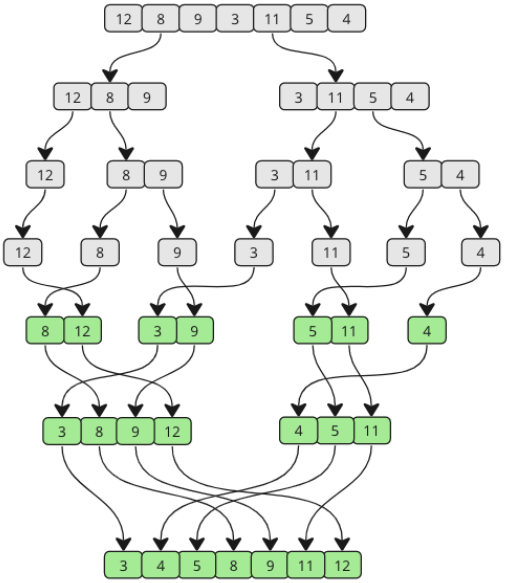
Sua complexidade no melhor caso é **O(n)** (quando o vetor já está ordenado), enquanto o pior e médio caso são **O(n²)** (quando os elementos estão em ordem inversa ou aleatória).

Apesar disso, ele possui uma vantagem sobre o Bubble Sort, pois realiza menos trocas, tornando-o mais rápido em muitos casos.



2.4 Merge Sort

O Merge Sort é um algoritmo de ordenação eficiente que utiliza o conceito de dividir para conquistar. Ele funciona dividindo repetidamente o vetor em duas metades até que cada subvetor tenha apenas um elemento (ou esteja vazio). Em seguida, ele combina essas sublistas de forma ordenada, reconstruindo o vetor original já ordenado.



Esse algoritmo é muito utilizado quando é necessário ordenar grandes conjuntos de dados, pois possui complexidade garantida de forma consistente, diferentemente do Insertion Sort, que pode ser ineficiente em grandes vetores.

2.4.1 Merge Sort In-Place

Uma forma de melhoria para o Merge Sort é o chamado Merge Sort In-Place, que busca reduzir o consumo de memória extra do algoritmo tradicional. No Merge Sort convencional, a cada divisão do vetor, são criados novos arrays temporários para armazenar as metades e realizar a mesclagem. Isso aumenta o uso de memória, principalmente em grandes conjuntos de dados.

O Merge Sort In-Place realiza a mesclagem diretamente no vetor original, evitando a criação de arrays auxiliares e, assim, diminuindo o consumo de memória. Apesar disso, ele é mais complexo de implementar e pode ter um custo adicional de tempo devido aos deslocamentos dentro do mesmo vetor.

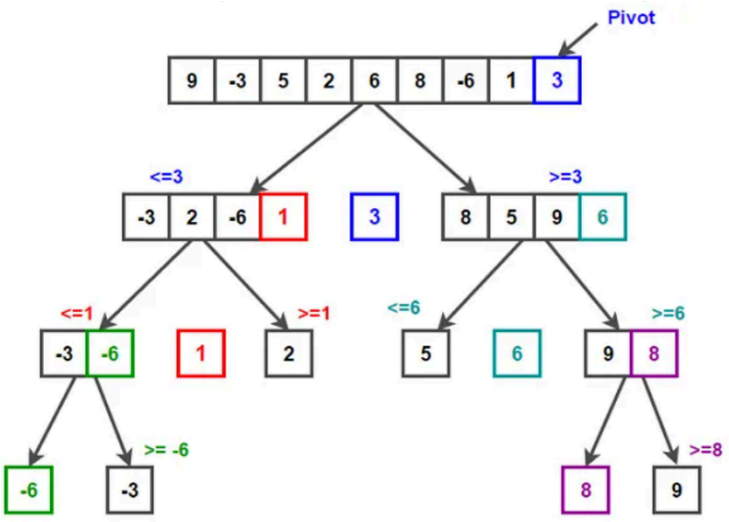
2.4.2 Complexidade do Merge Sort

O Merge Sort é muito eficiente, mesmo em grandes conjuntos de dados, graças à sua abordagem de dividir para conquistar. Melhor, médio e pior caso: O tempo de execução é sempre O(n log n), independentemente da ordem inicial dos elementos.

Possui a vantagem de ser estável (mantém a ordem relativa de elementos iguais) e realiza menos comparações do que algoritmos simples como Bubble ou Insertion Sort. A desvantagem é que ele requer memória extra proporcional ao tamanho do vetor, devido à criação de subvetores durante a mesclagem.

2.5 Quick Sort

O Quick Sort é um algoritmo de ordenação eficiente que utiliza a estratégia "dividir para conquistar". Ele seleciona um elemento como pivô e particiona o array de forma que os elementos menores que o pivô fiquem à esquerda e os maiores à direita. Em seguida, aplica recursivamente o mesmo processo para as partições esquerda e direita.



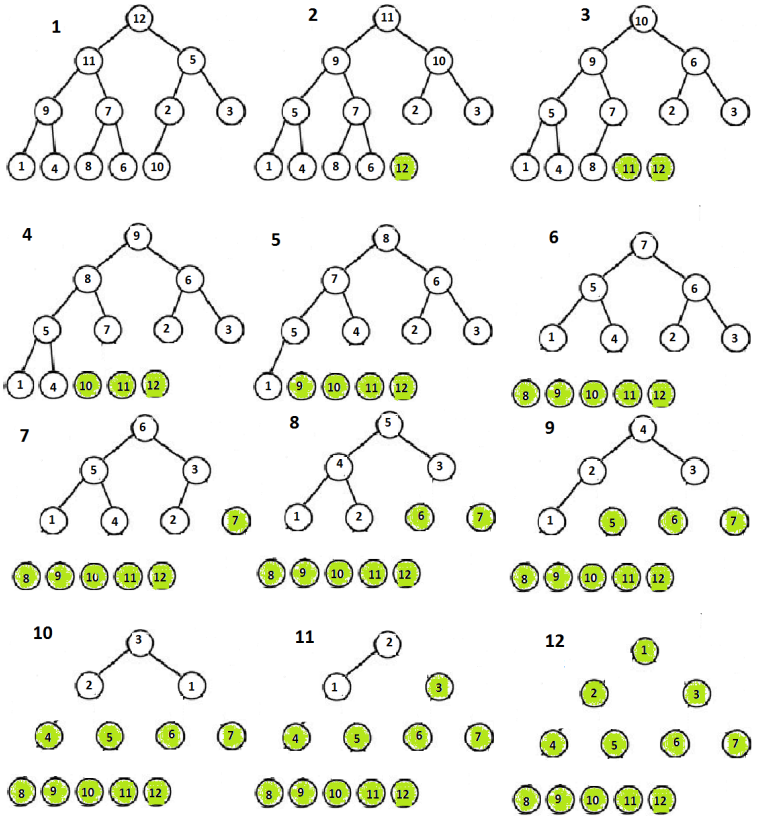
2.5.1 Complexidade do Quick Sort

No caso médio, o Quick Sort apresenta complexidade O(n log n), pois divide o vetor em partes menores e as ordena de forma eficiente.

No pior caso, a complexidade pode chegar a $O(n^2)$, quando as divisões ficam muito desbalanceadas. No código da equipe, foi usado um pivô aleatório, o que reduz bastante a chance desse pior caso acontecer.

2.6 Heap Sort

O Heap Sort é um algoritmo de ordenação baseado na estrutura de dados Heap (binária). Ele constrói um max-heap a partir do array e extrai repetidamente o maior elemento, colocando-o no final do array. O processo resulta em um array ordenado.



O algoritmo é particularmente útil quando se necessita de garantia de tempo de execução, pois evita o pior caso do Quick Sort.

2.6.1 Complexidade do Heap Sort

O algoritmo possui complexidade O(n log n) e uso de memória constante. Seu desempenho é estável em termos assintóticos, ou seja, não depende da ordem inicial dos dados, e não necessita de memória extra para execução.

3 ANÁLISE COMPARATIVA DE COMPLEXIDADE

3.1 Comparação de Complexidade de Tempo

Algoritmo	Melhor Caso	Caso Médio	Pior Caso
Bubble Sort	$O(n)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$
Selection Sort	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$
Insertion Sort	$O(n)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$
Merge Sort	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$
Quick Sort	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n^2)$
Heap Sort	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$

3.1.1 Algoritmos Quadráticos

Bubble Sort, Selection Sort e Insertion Sort apresentam um tempo de execução que cresce exponencialmente com o aumento do tamanho do vetor. Isso os torna ineficientes para grandes conjuntos de dados. No entanto, Bubble Sort e Insertion Sort mostram uma vantagem significativa no melhor caso, que ocorre quando o vetor já está ordenado.

O Selection Sort, por sua vez, é o menos adaptativo, mantendo a complexidade independentemente da ordenação inicial dos dados, pois sempre precisa percorrer o restante do vetor para encontrar o menor elemento.

3.1.2 Algoritmos Log-Lineares

Merge Sort, Quick Sort e Heap Sort são consideravelmente mais eficientes para grandes volumes de dados. Sua abordagem de "dividir para conquistar" permite um desempenho escalável. O Merge Sort e o Heap Sort se destacam por sua consistência, mantendo a complexidade em todos os cenários. O Quick Sort, embora geralmente o mais rápido na prática no caso médio, possui um ponto fraco: seu pior caso, que o degrada para um desempenho quadrático (), similar aos algoritmos mais simples.

4. METODOLOGIA E PROTOCOLO EXPERIMENTAL

O software foi desenvolvido em **JavaScript (Node.js)**, utilizando a biblioteca **prompt-sync** para interação pelo terminal. Foram implementados os algoritmos de ordenação conforme o código disponibilizado pela equipe.

O tempo de execução é medido com performance.now() (módulo perf_hooks). Métricas coletadas: tempo (ms), número de comparações entre elementos e número de trocas (ou movimentações, no caso do merge in-place).

Configurações Utilizada nos testes:
- **Máquina:** AMD Ryzen 5 5600G with Radeon Graphics (3.90 GHz) e 32gb RAM
- **Versão do Node.js:** v22.19.0
- **Repetições:** média de 5 execuções por configuração
- **Tamanhos testados:** n = 1.000, 10.000, 50.000 e 100.000.

As comparações representam cada verificação lógica entre dois elementos (por exemplo, if (a > b)).

As trocas indicam operações em que dois elementos são efetivamente permutados, enquanto as movimentações referem-se às atribuições sucessivas usadas durante o processo de mesclagem.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para a análise de desempenho dos algoritmos de ordenação, o código foi executado 5 vezes para cada configuração de tamanho de vetor (n = 1.000, 10.000, 50.000 e 100.000 elementos). Os resultados foram obtidos considerando a média dos tempos de execução, garantindo maior precisão e reduzindo o impacto de variações pontuais.

A seguir são apresentados os resultados e gráficos referentes a cada tipo de vetor testado.

5.1 Vetor Aleatório

n= 1.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'2.56'	'1.96'	970029	257646
1	'Selection Sort'	'1.48'	'2.09'	250000	1231
2	'Insertion Sort'	'0.82'	'0.90'	9566	257763
3	'Merge Sort'	'0.85'	'0.58'	9337	257646
4	'Quick Sort'	'1.08'	'0.69'	11306	7645
5	'Heap Sort'	'0.66'	'0.61'	16825	9058

n= 10.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)	Caso
0	'Bubble Sort'	'521.57'	'28.25'	99440055	24880506	'Médio'
1	'Selection Sort'	'50.20'	'8.29'	25000000	12381	'Médio'
2	'Insertion Sort'	'33.87'	'2.33'	128967	24921721	'Médio'
3	'Merge Sort'	'34.06'	'2.64'	126550	24880506	'Indiferente'
4	'Quick Sort'	'3.43'	'3.13'	179728	131037	'Médio'
5	'Heap Sort'	'2.68'	'1.39'	235304	124191	'Indiferente'

n= 50.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'16478.78'	'1656.11'	2478400431	625458866
1	'Selection Sort'	'849.26'	'85.55'	625000000	62099
2	'Insertion Sort'	'957.63'	'81.26'	761570	626657964
3	'Merge Sort'	'615.94'	'6.33'	747479	625458866
4	'Quick Sort'	'10.01'	'4.11'	1885578	1667307
5	'Heap Sort'	'13.64'	'1.74'	1409586	737196

n= 100.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)	Caso
0	'Bubble Sort'	'80741.66'	'3266.49'	9959800401	2500259618	'Médio'
1	'Selection Sort'	'9782.22'	'2227.60'	2500000000	124066	'Médio'
2	'Insertion Sort'	'9326.00'	'2504.15'	1622860	2505163507	'Médio'
3	'Merge Sort'	'9309.81'	'2481.90'	1595126	2500259618	'Indiferente'
4	'Quick Sort'	'23.06'	'4.87'	6265659	5835750	'Médio'
5	'Heap Sort'	'21.72'	'4.40'	3018436	1573824	'Indiferente'

Nos vetores aleatórios, os algoritmos quadráticos (Bubble Sort, Selection Sort e Insertion Sort) apresentaram tempos muito altos, especialmente o Bubble Sort, que foi o mais lento. O Insertion Sort teve desempenho um pouco melhor em vetores menores, mas ainda inferior aos algoritmos mais eficientes.

Os algoritmos de complexidade O(n log n) — Merge Sort, Quick Sort e Heap Sort — tiveram ótimo desempenho, com tempos muito menores. O Heap Sort foi o mais rápido, seguido de perto pelo Quick Sort e pelo Merge Sort.

5.2 Vetor Ordenado

n = 1.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'0.06'	'0.03'	999	0
1	'Selection Sort'	'1.07'	'1.26'	250000	0
2	'Insertion Sort'	'0.27'	'0.25'	8977	0
3	'Merge Sort'	'0.25'	'0.19'	999	0
4	'Quick Sort'	'1.10'	'0.56'	11010	6497
5	'Heap Sort'	'0.63'	'0.63'	17583	9708

n = 10.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'0.25'	'0.07'	9999	0
1	'Selection Sort'	'37.61'	'6.43'	25000000	0
2	'Insertion Sort'	'1.10'	'0.66'	123617	0
3	'Merge Sort'	'0.66'	'0.38'	9999	0
4	'Quick Sort'	'1.86'	'2.14'	149396	91695
5	'Heap Sort'	'2.21'	'1.27'	244460	131956

n= 50.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'0.35'	'0.45'	49999	0
1	'Selection Sort'	'802.88'	'117.97'	625000000	0
2	'Insertion Sort'	'4.76'	'0.61'	734465	0
3	'Merge Sort'	'1.29'	'0.71'	49999	0
4	'Quick Sort'	'6.42'	'5.71'	942731	513140
5	'Heap Sort'	'8.25'	'1.80'	1455438	773304

n= 100.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'0.43'	'0.52'	99999	0
1	'Selection Sort'	'11039.90'	'2929.65'	2500000000	0
2	'Insertion Sort'	'10.26'	'1.04'	1568929	0
3	'Merge Sort'	'2.34'	'0.96'	99999	0
4	'Quick Sort'	'10.53'	'5.13'	2007657	1153221
5	'Heap Sort'	'22.27'	'2.23'	3112517	1650854

Com os vetores já ordenados, o Bubble Sort e o Insertion Sort foram extremamente rápidos, pois praticamente não precisaram fazer trocas. O Merge Sort também manteve bom desempenho e o Heap Sort continuou eficiente, embora um pouco mais lento que o Quick. Enquanto o Selection Sort continuou lento mesmo com os dados organizados.

5.3 Vetor Inversamente Ordenado

n = 1.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'2.70'	'1.82'	999000	499500
1	'Selection Sort'	'1.20'	'1.56'	250000	500
2	'Insertion Sort'	'0.99'	'0.91'	9966	499500
3	'Merge Sort'	'1.08'	'0.93'	5931	499500
4	'Quick Sort'	'0.96'	'0.51'	10885	6412
5	'Heap Sort'	'0.62'	'0.63'	15965	8316

n = 10.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'585.82'	'65.80'	99990000	49995000
1	'Selection Sort'	'34.80'	'4.72'	25000000	5000
2	'Insertion Sort'	'83.93'	'19.27'	133602	49995000
3	'Merge Sort'	'50.01'	'2.36'	74607	49995000
4	'Quick Sort'	'1.85'	'2.26'	148881	90375
5	'Heap Sort'	'2.35'	'1.54'	226682	116696

n = 50.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'20200.10'	'1548.28'	2499950000	1249975000
1	'Selection Sort'	'897.21'	'115.44'	625000000	25000
2	'Insertion Sort'	'1880.79'	'141.07'	784448	1249975000
3	'Merge Sort'	'1246.90'	'15.42'	432511	1249975000
4	'Quick Sort'	'6.36'	'4.39'	941852	536458
5	'Heap Sort'	'12.25'	'1.66'	1366047	698892

n = 100.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'126656.49'	'7859.00'	9999900000	4999950000
1	'Selection Sort'	'11056.43'	'2847.51'	2500000000	50000
2	'Insertion Sort'	'27273.26'	'2982.19'	1668911	4999950000
3	'Merge Sort'	'27209.78'	'3379.75'	915023	4999950000
4	'Quick Sort'	'10.47'	'6.26'	2033457	1091036
5	'Heap Sort'	'17.37'	'4.54'	2926640	1497434

Nos vetores em ordem inversa, os algoritmos quadráticos sofreram grandes aumentos de tempo, principalmente o Bubble Sort, que teve o pior desempenho, o Insertion Sort também foi muito afetado.

Entre os algoritmos O(n log n), o Quick Sort manteve boa eficiência, com tempos próximos aos do Heap e do Merge Sort, todos bem mais rápidos que os quadráticos.

5.4 Vetor Quase Ordenado

n = 1.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'2.19'	'1.76'	893106	58834
1	'Selection Sort'	'1.40'	'1.94'	250000	104
2	'Insertion Sort'	'0.65'	'0.79'	9551	58834
3	'Merge Sort'	'0.54'	'0.76'	7843	58834
4	'Quick Sort'	'0.98'	'0.43'	10639	6566
5	'Heap Sort'	'0.72'	'0.72'	17417	9596

n = 10.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'219.23'	'8.54'	95690430	5675858
1	'Selection Sort'	'36.83'	'7.14'	25000000	1086
2	'Insertion Sort'	'9.85'	'1.27'	129018	5675858
3	'Merge Sort'	'6.80'	'1.24'	112328	5675858
4	'Quick Sort'	'1.75'	'1.74'	154410	89064
5	'Heap Sort'	'2.26'	'1.31'	242581	130094

n = 50.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'12188.54'	'2379.11'	2483100337	143724464
1	'Selection Sort'	'861.78'	'129.40'	625000000	5346
2	'Insertion Sort'	'217.12'	'22.49'	761270	143724464
3	'Merge Sort'	'145.59'	'1.89'	679253	143724464
4	'Quick Sort'	'6.25'	'4.08'	950136	526143
5	'Heap Sort'	'10.95'	'2.70'	1447024	767738

n = 100.000

Análise de Desempenho:

(index)	Algoritmo	Tempo (ms) média	Tempo (ms) std	Comparações (média)	Trocas/Movim. (média)
0	'Bubble Sort'	'69561.31'	'2208.74'	9925700742	575490436
1	'Selection Sort'	'11107.07'	'2950.37'	2500000000	10708
2	'Insertion Sort'	'801.73'	'31.47'	1622235	575490436
3	'Merge Sort'	'575.39'	'7.89'	1456169	575490436
4	'Quick Sort'	'10.48'	'4.65'	2024972	1155838
5	'Heap Sort'	'18.47'	'3.49'	3095184	1636084

Nos vetores quase ordenados, o Insertion Sort teve o melhor desempenho comparado com os outros algoritmos quadraticos, já que precisou de poucas trocas. O Quick Sort e o Heap Sort também mantiveram tempos muito bons, com o Merge Sort logo atrás. O Bubble Sort e o Selection Sort, apesar de melhorarem um pouco, continuaram sendo os menos eficientes.

6. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos confirmam o comportamento teórico esperado dos algoritmos de ordenação.

Os algoritmos quadráticos — Bubble Sort, Selection Sort e Insertion Sort — possuem complexidade $O(n^2)$, o que os torna ineficientes em vetores grandes e desordenados. Por isso, seus tempos crescem rapidamente conforme aumenta o valor de n.

Em contrapartida, os algoritmos Merge Sort, Quick Sort e Heap Sort, de complexidade $O(n \log n)$, apresentaram desempenho muito superior, sendo adequados para grandes volumes de dados.

O Heap Sort destacou-se no caso aleatório por manter um tempo consistente independentemente da distribuição dos valores, enquanto o Quick Sort foi o mais rápido em vetores ordenados devido à menor quantidade de comparações e trocas necessárias.

O Insertion Sort, embora quadrático, mostrou ótimo desempenho nos vetores quase ordenados, pois nesse tipo de dado ele realiza poucas movimentações, aproximando-se de um comportamento quase linear.

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que o desempenho dos algoritmos varia conforme o tipo de vetor e o grau de ordenação inicial dos dados. Os algoritmos $O(n^2)$ são aceitáveis apenas para vetores pequenos ou quase ordenados, enquanto os algoritmos $O(n \log n)$ são os mais indicados para grandes quantidades de dados.

De modo geral, o Heap Sort e o Quick Sort apresentaram os melhores resultados, mostrando-se mais estáveis e eficientes nos diferentes cenários testados.