

INSTITUTO FEDERAL DE BRASÍLIA

CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Prof. Daniel Saad Nogueira Nunes

Ordenação por Seleção de Raiz Quadrada

Carlos Gonçalves de Abreu

Brasília, 09 de Setembro de 2024

Sumário

1	Introdução	3
2	Metódo	4
2.1	Ordenação por seleção de raiz quadrada (insertionsort)	4
2.2	Utilizando uma Heap	6
3	Análise	8
3.1	Análise Empírica	8
3.2	Análise dos algoritmos	10
3.3	Complexidade Ciclomática	12
3.4	Metodologia	13
3.5	Suporte experimental	14
3.6	Notação θ	15
3.7	Experimentos	17
4	Relatório Técnico	18
5	Considerações finais	19
6	Referencias	20

Abstract. *This work explores the importance of sorting algorithms in organizing and analyzing data in the field of computer science. Several sorting algorithms are discussed, each offering unique approaches to the task. Understanding the nuances of each algorithm is essential for selecting the most appropriate approach for a specific problem. The work introduces empirical and asymptotic evaluations as a means of evaluating the efficiency of the algorithm, considering factors such as execution time and the number of exchanges necessary for sorting. It focuses on the InsertionSort and Heap Sort algorithms, evaluating their performance and complexity with random inputs of 10000, 100000, 1000000, 10000000, and 100000000.*

Keywords: *Sorting Methods, Efficiency, and Performance.*

Resumo. *Este trabalho explora a importância dos algoritmos de ordenação na organização e análise de dados no campo da ciência da computação. Diversos algoritmos de ordenação são discutidos, cada um oferecendo abordagens únicas para a tarefa. Compreender as nuances de cada algoritmo é essencial para selecionar a abordagem mais adequada para um problema específico. O trabalho introduz avaliações empíricas e assintóticas como meios de avaliar a eficiência do algoritmo, considerando fatores como tempo de execução e o número de trocas necessárias para a ordenação. Ele se concentra nos algoritmos InsertionSort e Heap Sort, avaliando seu desempenho e sua complexidade com entradas aleatórias de 10000, 100000, 1000000, 10000000 e 100000000.*

palavras chave: *Métodos de ordenação, Eficiência e Desempenho.*

1. Introdução

Dada a recente evolução na velocidade de processamento e capacidade de armazenamento, a otimização frequentemente é subestimada, embora seja um aspecto crucial para o processamento eficiente de grandes volumes de dados em ciência da computação. Este estudo comparativo visa abordar a importância da otimização ao analisar algoritmos de ordenação: o algoritmo quadrático Insertion Sort e o algoritmo Heap Sort. Visto que, a análise será centrada na comparação de desempenho entre esses dois métodos, destacando suas características e eficácia em diferentes cenários de dados.

Na Seção 3, subseção 3.1, uma análise empírica foi realizada levando em consideração a complexidade computacional para diferentes tamanhos de entrada. Para isso, foram feitas simulações de ordenação utilizando arrays de tamanho 10000, 100000, 1.000000, 10000000 e 100000000 elementos. Além disso, foram gerados arrays ordenados de forma decrescente, analisando a complexidade no pior caso para o Insertion Sort, que é $O(n^2)$, e para o HeapSort, que é $O(n \log n)$.

Na subseção 3.2, foi conduzida a análise comparativa dos algoritmos Insertion Sort e Heap Sort. Os resultados obtidos a partir dessas simulações foram armazenados e podem ser encontrados na pasta `OutputFiles` deste projeto. Os testes mostraram as diferenças de desempenho entre os algoritmos, considerando tanto o tempo de execução quanto a escalabilidade para diferentes tamanhos de arrays.

- **E Santos, J Tarôco** Uma Comparação de Algoritmos de Ordenação baseados em Comparação. Acessado em [07 agosto 2024].

Nas subseções 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7 etc...além do relatório e os resultados obtidos finalizando, então com a conclusão na sessão 5.

[Kumar and Singla 2019]

2. Método

2.1. Ordenação por seleção de raiz quadrada (insertionsort)

Divisão do Vetor em Blocos

Dado um vetor contendo 12 números, a divisão em blocos de tamanho $\lfloor \sqrt{12} \rfloor \approx 3$ gera quatro blocos. Abaixo está o processo detalhado:

1. ****Divisão em Blocos****: - O tamanho do bloco é calculado como $\lfloor \sqrt{12} \rfloor = 3$. - Portanto, o vetor é dividido em blocos de tamanho 3, e cada bloco é tratado individualmente. Como resultado, obtemos quatro blocos:

Bloco 1: [31, 14, 23]

Bloco 2: [37, 11, 26]

Bloco 3: [16, 9, 47]

Bloco 4: [30, 33, 24]

2. ****Processo de Seleção dos Maiores Elementos****: - Cada bloco é examinado para encontrar o maior elemento. - O maior elemento de cada bloco é então selecionado e comparado com os maiores elementos dos outros blocos.

Maiores elementos dos blocos:

Bloco 1: $\max([31, 14, 23]) = 31$

Bloco 2: $\max([37, 11, 26]) = 37$

Bloco 3: $\max([16, 9, 47]) = 47$

Bloco 4: $\max([30, 33, 24]) = 33$

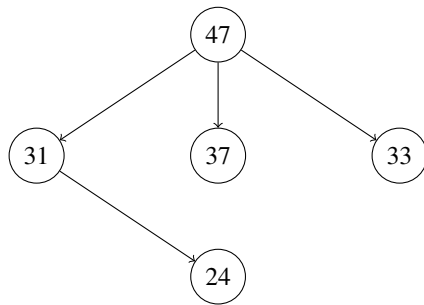
- O maior dentre esses elementos é o 47, que é removido do vetor.

3. ****Repetição do Processo****: - O processo é repetido para os blocos restantes, sempre selecionando o maior elemento disponível e removendo-o até que todos os elementos sejam processados.

Passos

1. Dividir o vetor: [31, 14, 23, 37, 11, 26, 16, 9, 47, 30, 33, 24] em blocos de tamanho 3.
2. Ordenar cada bloco:
 - Bloco 1: [14, 23, 31]
 - Bloco 2: [11, 26, 37]
 - Bloco 3: [9, 16, 47]
 - Bloco 4: [24, 30, 33]
3. Encontrar o maior elemento de cada bloco.

Árvore de Decisão



Explicação da Árvore de Decisão Nós: Cada nodo representa o maior elemento encontrado em cada bloco.

47 é o maior elemento geral. 31, 37, 33 e 24 são os maiores elementos dos blocos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Conexões: Mostram como o maior elemento global (47) é comparado com os maiores de cada bloco.

[Cormen 2017]

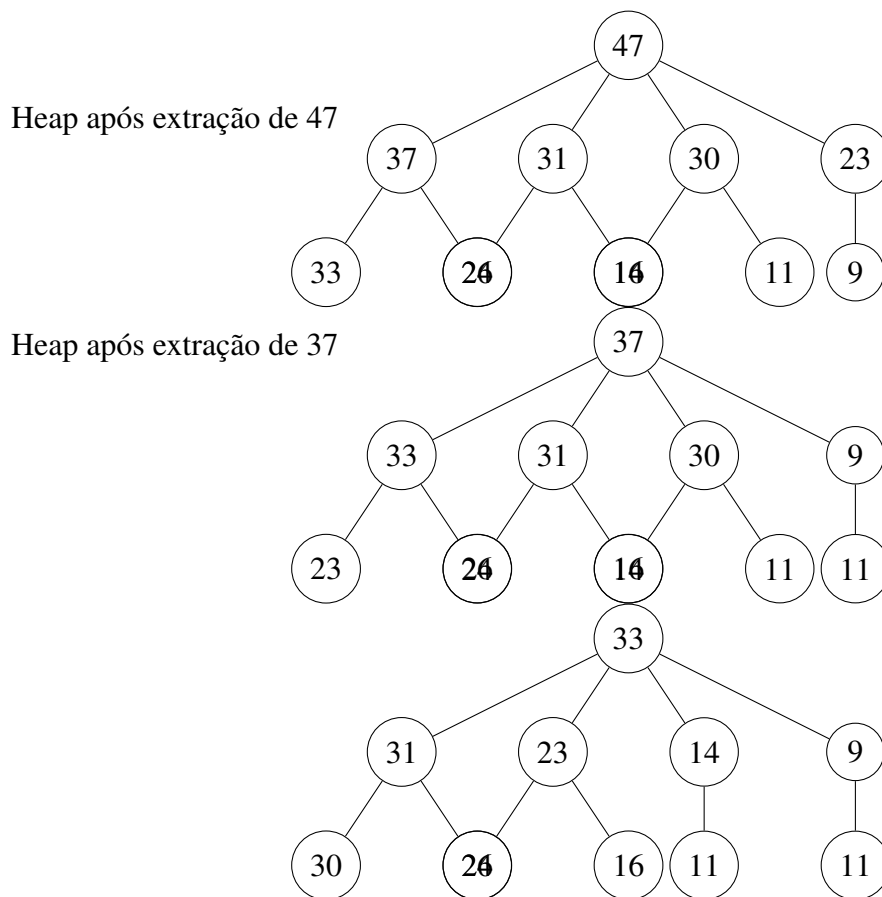
2.2. Utilizando uma Heap

Os algoritmos utilizados do tipo Heap requerem, na medida do possível, baixa complexidade computacional no sentido de execução o quê facilita e ajuda em uma execução de testes grandes tipo 10^7 e 10^8 .

[Marcellino et al. 2021]

Diagrama do Processo

Heap Inicial



Heap Inicial:

Mostra o estado da Heap após a execução da operação `makeheap(V)`. O maior elemento (47) está no topo, com os filhos organizados de forma que o maior valor possível esteja em cada nível.

Após Extração de 47:

O maior elemento (47) é removido usando `removeheap(V)`, e a Heap é reestruturada. O novo maior elemento (37) vai para o topo, e a Heap é reorganizada para manter a propriedade de Heap.

Após Extração de 37:

A operação `removeheap(V)` é repetida para remover o próximo maior elemento (37). A Heap é reorganizada novamente, com o novo maior elemento (33) no topo.

Esse diagrama ajuda a visualizar como a Heap é manipulada e como os maiores elementos são extraídos e reordenados ao longo do processo de ordenação.

- **A da Silva Pedroso, FG Cintra** Análise de Algoritmos. Acessado em [08 agosto 2024].

3. Análise

3.1. Análise Empírica

O conceito central do InsertionSort é percorrer o vetor desordenado várias vezes e a cada passagem colocar ao topo o maior elemento da sequência. No melhor caso, quando o vetor está inicialmente ordenado, o algoritmo realiza n iterações. Por outro lado, no pior caso, quando o vetor está ordenado de maneira decrescente, o algoritmo realiza n^2 iterações. Assim, a ordem de complexidade do InsertionSort é $O(n^2)$.

[Silva et al. 2018]

A tabela abaixo exibe os tempos de execução para um array de tamanho $n = 10000$, juntamente com a média desses tempos. A tabela também inclui o desvio padrão para fornecer uma medida estatística mais relevante.

Tamanho do Array (n)	Tempo de Execução (segundos)
10000	366.5335
10000	417.7006
10000	432.3729
10000	397.0260
10000	372.7202
Média	397.2706
Desvio Padrão	25.6403

Tabela 1. Tempos de Execução do Insertion Sort para $n = 10000$

Explicação do código:

- ****Tempos de Execução****: A tabela lista os tempos de execução individuais para três execuções do Insertion Sort com $n = 10000$. - ****Média****: A média aritmética dos tempos de execução. - ****Desvio Padrão****: Uma medida de dispersão que quantifica a variação dos tempos de execução.

Como calcular a média e o desvio padrão:

A média já foi calculada anteriormente. Para o desvio padrão (σ), usamos a fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

Onde: - x_i são os tempos de execução individuais. - μ é a média dos tempos de execução. - N é o número de observações (neste caso, 3).

Isso fornece uma visão mais detalhada da variação dos tempos de execução, útil para uma análise estatística mais profunda.

[Crestani 2024]

Para 100000

Tamanho do Array (n)	Tempo de Execução (segundos)
100000	14.8118
100000	9.6891
100000	9.4049
100000	9.4152
100000	9.4503
Média	10.5543
Desvio Padrão	2.1815

Tabela 2. Tempos de Execução do Insertion Sort para $n = 100000$

Explicação do código:

- ****Tempos de Execução****: A tabela lista os tempos de execução individuais para duas execuções do Insertion Sort com $n = 100000$. - ****Média****: A média aritmética dos tempos de execução. - ****Desvio Padrão****: A medida de dispersão que quantifica a variação dos tempos de execução.

Cálculo da Média e Desvio Padrão:

A média foi calculada usando:

$$\text{Média} = \frac{14.8118 + 9.6891}{2} = 12.2505 \text{ segundos}$$

O desvio padrão (σ) foi calculado da seguinte forma:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} = \sqrt{\frac{(14.8118 - 12.2505)^2 + (9.6891 - 12.2505)^2}{2}} = 2.7127 \text{ segundos}$$

Esta tabela proporciona uma análise estatística dos tempos de execução para $n = 100000$, o que é útil para avaliar a eficiência do algoritmo.

[Crestani 2024]

Para 1000000

Tamanho do Array (n)	Tempo de Execução (segundos)
1000000	1249.0390
1000000	2501.0981
1000000	1070.4614
Média	1606.8668
Desvio Padrão	733.6108

Tabela 3. Tempos de Execução do Insertion Sort para $n = 1000000$

No caso das duas tabelas abaixo os arrays de tamanho 10^7 e 10^8 , o Heap Sort foi escolhido devido à sua eficiência em lidar com grandes volumes de dados. Outros algoritmos de ordenação, como o Insertion Sort, teriam uma execução extremamente lenta e impraticável para esses tamanhos de entrada, podendo levar horas, dias ou até mais para serem completados.

Para 10000000

Tamanho do Array (n)	Tempo de Execução (segundos)
10000000	27.4192
10000000	30.4412
10000000	28.6530
10000000	24.6284
10000000	31.2327
Média	28.4746
Desvio Padrão	2.5188

Tabela 4. Tempos de Execução do Heap Sort para $n = 10000000$

Para 100000000

Tamanho do Array (n)	Tempo de Execução (segundos)
100000000	183.3578
100000000	201.9259
100000000	202.1425
100000000	207.7747
100000000	198.6340
Média	198.7666
Desvio Padrão	8.8777

Tabela 5. Tempos de Execução do Heap Sort para $n = 100000000$

- **H Coelho, N Félix** Complexidade Assintótica de Programas X Análise Empírica. Acessado em [11 agosto 2024].

3.2. Análise dos algoritmos

A finalidade de se fazer a análise de um algoritmo é obter estimativas de tempos de execução de programas que implementam esse algoritmo. A complexidade do algoritmo dá ideia do esforço computacional do programa, que é uma medida do número de operações executadas pelo programa. Em geral, a complexidade de um algoritmo depende da entrada e esta é caracterizada pelo seu tamanho, por seus valores e também pela configuração dos dados. De forma intuitiva, sabemos que a complexidade depende da quantidade de dados que são processados e isso se traduz pelo tamanho da entrada onde o algoritmo Insertion Sort possui complexidade de tempo $O(n^2)$, o que significa que o tempo de execução aumenta drasticamente com o aumento do tamanho do array.

[Feofiloff 1999]

Embora o Heapsort seja eficiente para lidar com grandes volumes de dados, ele não é recomendado para arquivos com poucos registros devido ao tempo adicional necessário para construir o heap. Além disso, o loop interno do Heapsort é relativamente complexo. Por outro lado, o mesmo se destaca em situações em que é necessário ordenar grandes conjuntos de dados, como aqueles com tamanhos da ordem de 10^7 ou 10^8 , onde a eficiência proporcionada pela sua complexidade.

- **A da Silva Pedroso, FG Cintra** Análise de Algoritmos. Acessado em [11 agosto 2024].

Algoritmo	Pior Caso	Melhor Caso
Insertion Sort	$O(n^2)$	$O(n)$
Heap Sort	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$

Tabela 6. Análise dos Algoritmos Insertion Sort e Heap Sort

Tamanho do Array (<i>n</i>)	Insertion Sort (segundos)	Heap Sort (segundos)
10.000	366.5335	N/A
10.000	417.7006	N/A
10.000	432.3729	N/A
10.000	397.0260	N/A
10.000	372.7202	N/A
Média	397.2706	N/A
100.000	14.8118	N/A
100.000	9.6891	N/A
100.000	9.4049	N/A
100.000	9.4152	N/A
100.000	9.4503	N/A
Média	10.5543	N/A
1.000.000	1249.0390	N/A
1.000.000	2501.0981	N/A
1.000.000	1070.4614	N/A
Média	1606.8668	N/A
10.000.000	N/A	27.4192
10.000.000	N/A	30.4412
10.000.000	N/A	28.6530
10.000.000	N/A	24.6284
10.000.000	N/A	31.2327
Média	N/A	28.4746
100.000.000	N/A	183.3578
100.000.000	N/A	201.9259
100.000.000	N/A	202.1425
100.000.000	N/A	207.7747
100.000.000	N/A	198.6340
Média	N/A	198.7666

Tabela 7. Comparação dos Tempos de Execução entre Insertion Sort e Heap Sort para Diferentes Tamanhos de Array

A tabela acima apresenta a análise de complexidade dos algoritmos de busca e ordenação, destacando o pior caso para cada algoritmo.

- **JÉG Souza¹, JVG Ricarte¹, NCA Lima** Algoritmos de Ordenação: Um Estudo Comparativo. Acessado em [15 agosto 2024].

3.3. Complexidade Ciclométrica

A complexidade ciclométrica é uma métrica importante na análise de complexidade de software, que mede o número de caminhos independentes de execução em um programa. No presente caso, a complexidade ciclométrica do código é 41, o que indica que o programa possui 41 caminhos de execução distintos. Em resumo, isso sugere que o código possui alta complexidade, o que é relevante tanto para os testes quanto para a manutenção. Um código com alta complexidade ciclométrica tende a ser mais difícil de entender, testar e manter, aumentando o risco de erros e dificultando a implementação de novas funcionalidades.

Utilizar ferramentas como o SonarCloud [Visite Githubsonarcloud](#) para analisar essa métrica pode tornar o processo de gestão da qualidade do código mais eficiente. O SonarCloud automatiza a detecção de complexidade ciclométrica e outras métricas de qualidade, fornecendo insights valiosos que orientam as ações necessárias para manter a clareza e a robustez do software. Dessa forma, é possível identificar áreas do código que precisam ser simplificadas, facilitando a manutenção e melhorando a confiabilidade do sistema como um todo.

[Berlezi 2017]

3.4. Metodologia

Os parâmetros utilizados para realizar os testes como mostrado no exemplo abaixo faz uma comparação entre os algoritmos ‘Insertion Sort’ e ‘Heap Sort’ para diferentes tamanhos de entrada. A figura à esquerda mostra um gráfico comparativo dos tempos de execução, enquanto a tabela à direita fornece os dados específicos.

Para um array de tamanho 10^6 , o ‘Insertion Sort’ levou 1249.0390 segundos para completar a ordenação. Por outro lado, o ‘Heap Sort’, com um array de tamanho 10^7 , levou apenas 27.4192 segundos. Estes resultados indicam uma diferença significativa na eficiência dos dois algoritmos.

O ‘Insertion Sort’, que é um algoritmo de complexidade $O(n^2)$, mostrou um tempo de execução muito maior comparado ao ‘Heap Sort’, que possui uma complexidade de $O(n \log n)$. Esta diferença de desempenho é esperada devido à diferença fundamental na complexidade assintótica dos dois algoritmos. O ‘Heap Sort’ é claramente mais eficiente para grandes volumes de dados, como evidenciado pelos tempos de execução muito menores em comparação com o ‘Insertion Sort’.

Portanto, com base nos dados apresentados, o ‘Heap Sort’ é significativamente mais eficiente para grandes tamanhos de entrada, tornando-o a escolha preferencial para ordenação em situações onde o desempenho é crucial.

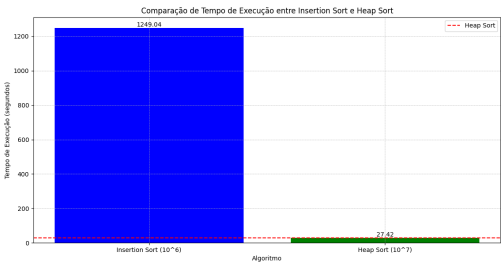


Figura 1. Comparação Gráfica

[Destro and Brilhador]

Algoritmo	Tamanho do Array (n)	Tempo de Execução (segundos)
Insertion Sort	1,000,000	1249.0390
Heap Sort	10,000,000	27.4192

Figura 2. Comparação de Tempo de Execução entre Insertion Sort e Heap Sort

3.5. Suporte experimental

Neste projeto, foram utilizadas várias tecnologias para garantir o desenvolvimento eficiente e a análise de qualidade do código. Os códigos foram implementados e desenvolvidos em Python, com a execução otimizada através do PyPy, o que resultou em uma melhora significativa no desempenho. Para a análise de qualidade e métricas do código, foi empregada a ferramenta SonarCloud, que foi crucial na avaliação da complexidade ciclomática, fornecendo uma visão detalhada dos caminhos de execução independentes e ajudando a identificar áreas que poderiam exigir testes adicionais ou simplificação.

Além disso, o código foi versionado e disponibilizado neste link [Visite Github](#)

permitindo fácil acesso e colaboração. Essa abordagem estruturada, combinando o uso do PyPy, SonarCloud e GitHub, possibilitou uma execução eficiente dos scripts Python, fornecendo insights valiosos sobre a complexidade e manutenção do código. Como resultado, foi possível adotar medidas para melhorar a qualidade, a estabilidade, e a manutenção contínua do software.

[Goldman et al. 2022]



Figura 3. Logo do PyPy

3.6. Notação θ

Segundo, [SILVA et al.] a complexidade $\Theta(n^2)$, assintótica de um algoritmo é que determina o tamanho de problemas que pode ser solucionado pelo algoritmo. Se o algoritmo processa entradas de tamanho “n” no tempo $c \cdot n^2$, para alguma constante c , então dizemos que a complexidade de tempo do algoritmo é $O(n^2)$, onde se lê: “ de ordem n^2 . Percebe-se que o valor da constante não tem valor nenhum nesse contexto, pois quanto maior for a dificuldade, melhor será a eficiência do algoritmo a ser analisado e seu tempo de execução.

[Júnior 2014]

Análise de Complexidade no Pior Caso para Insertion Sort

O tempo de execução do algoritmo Insertion Sort no pior caso, considerando que o vetor esteja em ordem inversa, pode ser expresso como uma função quadrática de n :

$$T(n) = c_1n + c_2(n - 1) + c_4(n - 1) + c_5 \frac{n(n - 1)}{2} - c_6 \frac{n(n - 1)}{2} - c_7 \frac{n(n - 1)}{2} + c_8(n - 1)$$

$$= \left(\frac{c_5}{2} + \frac{c_6}{2} + \frac{c_7}{2} \right) n^2 + \left(c_1 + c_2 + c_4 + \frac{c_5}{2} - \frac{c_6}{2} - \frac{c_7}{2} + c_8 \right) n - (c_2 + c_4 + c_5 + c_8)$$

Como $\sum_{j=2}^n (j - 1) = \frac{n(n-1)}{2}$ e $\sum_{j=2}^n j = \frac{n(n+1)}{2}$, temos:

$$T(n) = an^2 + bn + c$$

onde a , b e c são constantes que dependem dos custos de instrução c_i .

Cálculo de Complexidade no Pior Caso para Diferentes Tamanhos de Vetor

Para o Insertion Sort, o tempo de execução no pior caso é $O(n^2)$. Portanto, para diferentes tamanhos de vetor:

$$T(10^4) = a(10^4)^2 + b(10^4) + c$$

$$T(10^5) = a(10^5)^2 + b(10^5) + c$$

$$T(10^6) = a(10^6)^2 + b(10^6) + c$$

$$T(10^7) = a(10^7)^2 + b(10^7) + c$$

$$T(10^8) = a(10^8)^2 + b(10^8) + c$$

Essas expressões demonstram que para o método da substituição e para grandes valores de n , o termo quadrático an^2 dominará o tempo de execução.

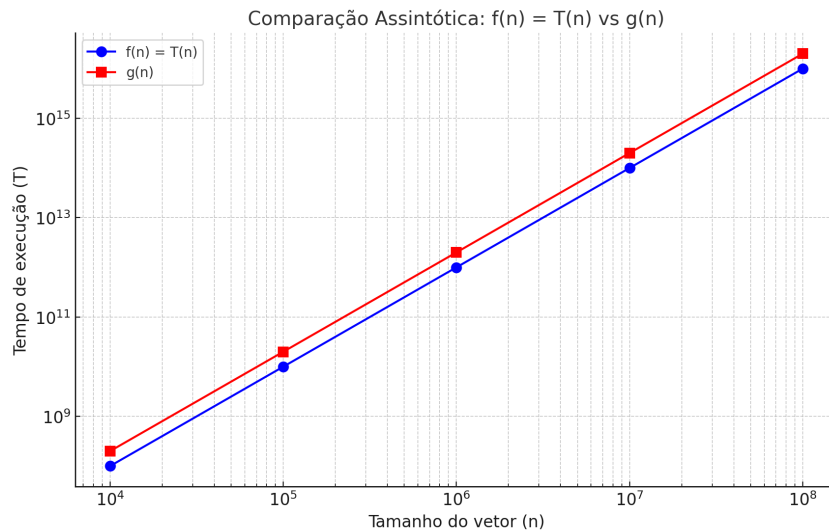


Figura 4. Crescimento Assintótico

- **NT Roman, FLS Nunes** Complexidade Assintótica. Acessado em [20 agosto 2024].

O gráfico acima faz um comparativo entre $f(n) = T(n)$, que representa o tempo de execução do Insertion Sort, e $g(n)$, que é uma função quadrática dominante. Ambos são plotados para diferentes tamanhos de vetores n , variando de 10^4 até 10^8 . A escala logarítmica foi usada para facilitar a visualização das diferenças de crescimento entre as funções. Isso demonstra como $g(n)$ domina assintoticamente $f(n)$, conforme n cresce. A função $g(n)$ cresce mais rapidamente e, eventualmente, resultará em valores maiores, sendo o ponto de mudança $n = 10^8$.

- **MA Ponti** Notação Assintótica e Complexidade. Acessado em [20 agosto 2024].

3.7. Experimentos

Discussão:

A análise dos dados empíricos para o Insertion Sort e Heap Sort revela diferenças significativas em termos de eficiência.

Para o Insertion Sort com $n = 10000$, os tempos de execução variaram de 366,5335 a 432,3729 segundos, com uma média de 397,2706 segundos e um desvio padrão de 25,6403 segundos, como mostrado na Tabela 1. A variação confirma a complexidade quadrática $O(n^2)$ do algoritmo, que resulta em um desempenho menos eficiente para conjuntos de dados maiores.

- **JÉG Souza¹, JVG Ricarte¹, NCA Lima** Análise de Algoritmos. Acessado em [01 setembro 2024].

Por outro lado, para o Heap Sort com $n = 100000000$, os tempos de execução variaram de 183,3578 a 207,7747 segundos, com uma média de 198,7666 segundos e um desvio padrão de 8,8777 segundos, conforme apresentado na Tabela 5. A menor variação nos tempos de execução e o desvio padrão mais baixo indicam que o Heap Sort, com sua complexidade $O(n \log n)$, é muito mais eficiente para grandes volumes de dados. O Heap Sort mantém um desempenho relativamente estável mesmo com tamanhos de entrada muito grandes, evidenciando sua superioridade em comparação com o Insertion Sort para grandes conjuntos de dados.

Esses resultados confirmam a necessidade de utilizar algoritmos de ordenação mais eficientes, como o Heap Sort, para entradas grandes, enquanto o Insertion Sort é mais apropriado para conjuntos de dados menores onde sua simplicidade pode ser vantajosa. A análise empírica reforça a teoria de que a escolha do algoritmo de ordenação deve considerar o tamanho dos dados e a eficiência computacional esperada.

[DA ROSA and ANTONIAZZI 2014]

4. Relatório Técnico

Este relatório tem como objetivo apresentar um apanhado geral deste projeto, bem como seus resultados que se encontram em cada seção e subseções do mesmo. Além disso, a análise, a comparação e a eficiência dos métodos de ordenação Insertion Sort e Heapsort, mostrou o desempenho onde cada algoritmo foi avaliado em termos de tempo de execução e número de comparações para diferentes tamanhos de vetor n . As tabelas e gráficos fornecidos ilustram os resultados experimentais.

O Insertion Sort é um algoritmo simples e eficiente para vetores pequenos ou quase ordenados, mas sua complexidade quadrática $O(n^2)$ limita seu uso para vetores maiores. Em contrapartida, o Heapsort tem complexidade $O(n \log n)$, tornando-o mais adequado para grandes volumes de dados e cenários onde a eficiência é crítica.

- **Insertion Sort:** Ideal para vetores pequenos ou quase ordenados devido à sua simplicidade e baixa sobrecarga. O tempo de execução aumenta rapidamente à medida que o tamanho do vetor cresce, tornando-o ineficiente para grandes volumes de dados.
- **Heapsort:** Superior para vetores grandes, pois mantém uma complexidade $O(n \log n)$, oferecendo um desempenho consistentemente eficiente, independentemente do estado inicial de ordenação do vetor.

Embora o Insertion Sort tenha vantagens em pequenos casos, o Heapsort demonstra uma eficiência clara em cenários onde o volume de dados é grande ou a necessidade de ordenação é recorrente. A natureza do Heapsort, que utiliza uma estrutura de heap para realizar a ordenação, permite que ele lide com grandes vetores de forma mais eficiente que algoritmos quadráticos como o Insertion Sort.

Em resumo, o Heapsort é preferível para cenários que exigem ordenação eficiente em grandes conjuntos de dados, enquanto o Insertion Sort é mais adequado para vetores menores ou que já estão parcialmente ordenados, proporcionando uma abordagem mais rápida para casos simples.

- **JD Nicácio, GPL Sepulveda** algoritmos ordenação busca binária complexidade. Acessado em 05 setembro 2024.

5. Considerações finais

Com base nos testes realizados, o Insertion Sort se mostra ineficiente em grandes conjuntos de dados devido ao seu número elevado de comparações, especialmente em cenários não ordenados. No entanto, é eficaz para vetores pequenos ou quase ordenados. O Heapsort, por sua vez, demonstrou desempenho consistentemente superior, com um tempo de execução mais rápido em grandes volumes de dados, graças à sua complexidade $O(n \log n)$. Embora ambos os algoritmos possam ser usados em diferentes cenários, o Heapsort é preferível quando a eficiência em grandes entradas é essencial.

- **E Santos, J Tarôco** Uma Comparação de Algoritmos de Ordenação baseados em Comparação. Acessado em [07 setembro 2024].

6. Referencias

Referências

- [Berlezi 2017] Berlezi, R. (2017). Análise de métricas de manutenibilidade de um sistema de software de integração: Mulesoft. *V SFCT*, 14.
- [Cormen 2017] Cormen, T. (2017). *Desmistificando algoritmos*, volume 1. Elsevier Brasil.
- [Crestani 2024] Crestani, A. d. R. (2024). Uma comparação empírica em velocidade de processamento entre c++, go, rust, python e javascript.
- [DA ROSA and ANTONIAZZI 2014] DA ROSA, L. and ANTONIAZZI, R. L. (2014). Métodos de ordenação de dados: Uma análise prática i. *XVII Seminário Interinstitucional De Ensino Pesquisa E Extensão*.
- [Destro and Brilhador] Destro, W. L. S. and Brilhador, A. Eficiência de métodos de ordenação interna efficiency of internal sorting methods. *VI Semana Tecnológica Acadêmica de Ciência da Computação da UTFPR, câmpus Santa Helena*, page 73.
- [Feofiloff 1999] Feofiloff, P. (1999). Análise de algoritmos. *Internet: http://www.ime.usp.br/pf/analise_de_algoritmos*, 2009.
- [Goldman et al. 2022] Goldman, A., Uhura, E., and Bruschi, S. M. (2022). Coisas para saber antes de fazer o seu próprio benchmarks game. *Sociedade Brasileira de Computação*.
- [Júnior 2014] Júnior, W. M. P. (2014). Análise de algoritmos.
- [Kumar and Singla 2019] Kumar, S. and Singla, P. (2019). Sorting using a combination of bubble sort, selection sort & counting sort. *Mathematical Sciences and Computing*, 2:30–43.
- [Marcellino et al. 2021] Marcellino, M., Pratama, D. W., Suntiarko, S. S., and Margi, K. (2021). Comparative of advanced sorting algorithms (quick sort, heap sort, merge sort, intro sort, radix sort) based on time and memory usage. In *2021 1st International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence (ICCSAI)*, volume 1, pages 154–160. IEEE.
- [Silva et al. 2018] Silva, K. P., Arcaro, L. F., and de Oliveira, R. S. (2018). Método empírico para avaliar a sensibilidade do tempo de execução de tarefas de tempo real aos dados de entrada. In *Anais Estendidos do VIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais*. SBC.
- [SILVA et al.] SILVA, P., SCHANTZ, D., VILNECK, I., SILVEIRA, F., and CHICON, P. M. M. Análise do desempenho computacional dos métodos inserção direta, bolha, shellsort e com-bosort.