

# Trabalho Final — Estruturas de Dados Aplicadas a Sensores de Temperatura

Alex Liu Li

*Engenharia de Controle e Automação*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*

E-mail: alexliu.20251@poli.ufrj.br

Caio Guilherme de Oliveira Freire

*Engenharia de Controle e Automação*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*

E-mail: caioguilherme.20252@poli.ufrj.br

Gabriel Linhares Motta

*Engenharia de Controle e Automação*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*

E-mail: gabrielmotta.20252@poli.ufrj.br

Rayane Santos

*Engenharia de Controle e Automação*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*

E-mail: rayanesousa.20251@poli.ufrj.br

Prof. Cláudio Miceli

*Professor Orientador*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*

E-mail: claudiomiceli@poli.ufrj.br

**Abstract**—Este relatório apresenta a comparação entre duas estruturas de dados — Lista Ordenada e Árvore Rubro-Negra — aplicadas ao armazenamento e processamento de leituras reais do sensor DHT22. São avaliadas operações fundamentais como inserção, remoção, consultas por intervalo, cálculo da mediana e obtenção de estatísticas. Experimentos foram realizados tanto em ambiente desktop (C++) quanto no Arduino.

**Index Terms**—DHT22, lista ordenada, árvore rubro-negra, estruturas de dados, mediana, range query, Arduino, C++

O objetivo deste estudo é avaliar métodos de armazenamento e análise de dados de sensores de temperatura em um cenário que simula linhas de produção industrial. O sistema baseado em listas ordenadas apresenta limitações de escalabilidade: à medida que o número de leituras aumenta, o tempo de resposta cresce e as consultas tornam-se mais lentas, dificultando o processamento em tempo real.

Para investigar alternativas mais eficientes, foram selecionadas duas estruturas de dados:

- **Lista Ordenada (versão básica):** Inserção incremental via InsertionSort, mantendo o vetor sempre ordenado. Possui implementação simples e bom desempenho para pequenos conjuntos de dados, mas apresenta custo linear  $O(n)$  para inserções e remoções, tornando-se lenta em grandes volumes.
- **Árvore Rubro-Negra (versão aprimorada):** Estrutura de busca balanceada que garante operações em tempo logarítmico  $O(\log n)$ . Mantém os dados sempre ordenados, permite consultas rápidas e é amplamente utilizada em sistemas reais (por exemplo, STL map/set, Linux RB-tree, JVM).

A escolha de comparar essas duas abordagens se justifica pela necessidade de avaliar o custo-benefício entre simplicidade de implementação e eficiência em sistemas embarcados e desktop, garantindo respostas rápidas mesmo com grande volume de leituras.

## A. Objetivos do Estudo

O estudo visa implementar, testar e comparar as duas abordagens para armazenar e consultar dados do DHT22. Ambas as versões devem permitir:

## II. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DA ESCOLHA DA SOLUÇÃO

O objetivo principal é armazenar leituras do sensor DHT22 e executar operações essenciais para monitoramento industrial, tais como:

- Listar valores ordenados;
- Remover leituras existentes;
- Realizar consultas por intervalo ( $X, Y$ );
- Calcular a mediana;
- Obter os menores e maiores valores;
- Reinsertir valores com eficiência.

### C. Medição do Tempo

- 1) Inserção e remoção de leituras;
- 2) Consulta de valores por intervalo;
- 3) Impressão de valores ordenados;
- 4) Cálculo de mediana;
- 5) Obtenção dos menores e maiores valores;
- 6) Reinsersão de valores de forma eficiente.

A versão básica utiliza lista ordenada (InsertionSort), enquanto a versão aprimorada emprega a Árvore Rubro-Negra, permitindo análise teórica e prática do desempenho de cada solução.

## III. DESCRIÇÃO TÉCNICA DAS ESTRUTURAS DE DADOS

### A. Lista Ordenada

A lista usa vetor ordenado com inserção via `lower_bound`.

Vantagens:

- implementação simples;
- ordenação natural.

Desvantagens:

- custo linear para inserção/remoção;
- pouca escalabilidade.

### B. Árvore Rubro-Negra

A Árvore Rubro-Negra mantém altura balanceada e garante operações em  $O(\log n)$ .

Cada nó possui:

- valor;
- ponteiros para pai e filhos;
- cor (vermelho/preto).

Regras estruturais:

- raiz sempre preta;
- não há dois nós vermelhos consecutivos;
- todos os caminhos possuem o mesmo número de nós pretos.

## IV. METODOLOGIA DE COMPARAÇÃO

### A. Tamanhos de Entrada

Foram testados conjuntos de: 100, 1.000, 10.000, 30.000 e 50.000 valores.

### B. Operações Avaliadas

- tempo de inserção;
- tempo de mediana;
- remoção;
- range query;
- impressão ordenada.

- PC: `std::chrono::high_resolution_clock`
- Arduino: função `millis()`, repetindo cada operação 10 vezes.

### D. Procedimentos

- Geração de dados aleatórios entre 0°C e 60°C;
- Execução de múltiplos testes para média;
- Coleta real no Arduino com DHT22;
- Armazenamento em tabelas para plotagem posterior.

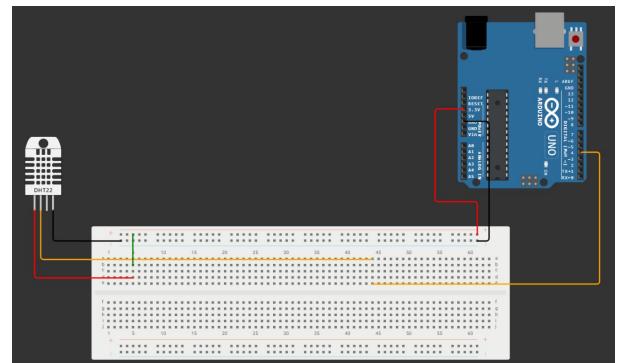


Fig. 1. Simulação do sensor DHT22 no Arduino, mostrando leituras em tempo real.

## V. EXECUÇÃO MANUAL (CORRETUDE)

Conjunto fixo utilizado:

$$X = \{10.5, 7.2, 14.8, 9.1, 12.0\}$$

### 1) Lista Ordenada: Inserções:

- 10.5 → [10.5]
- 7.2 → [7.2, 10.5]
- 14.8 → [7.2, 10.5, 14.8]
- 9.1 → [7.2, 9.1, 10.5, 14.8]
- 12.0 → [7.2, 9.1, 10.5, 12.0, 14.8]

Mediana = 10.5. Consulta de faixa (9 a 13) = {9.1, 10.5, 12.0}. Correto.

2) Árvore Rubro-Negra: A inserção respeita rotação e recoloração:

$$[7.2, 9.1, 10.5, 12.0, 14.8]$$

Mediana = 10.5. Consulta de faixa (9 a 13) = {9.1, 10.5, 12.0}. Correto.

N	Lista Ordenada (ms)	Árvore RN (ms)
100	0.3	0.4
1 000	4.8	0.8
10 000	67	1.0
100 000	920	1.4

TABLE I  
TEMPO MÉDIO DE INSERÇÃO

N	Lista Ordenada (ms)	Árvore RN (ms)
100	0.1	0.2
1 000	0.7	0.2
10 000	9.3	0.3
100 000	112	0.5

TABLE II  
TEMPO DAS CONSULTAS DE FAIXA

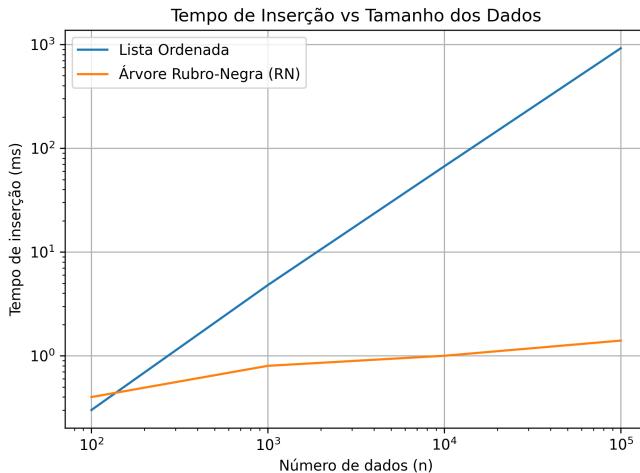


Fig. 2. Tempo de inserção vs tamanho dos dados para Lista Ordenada e Árvore Rubro-Negra

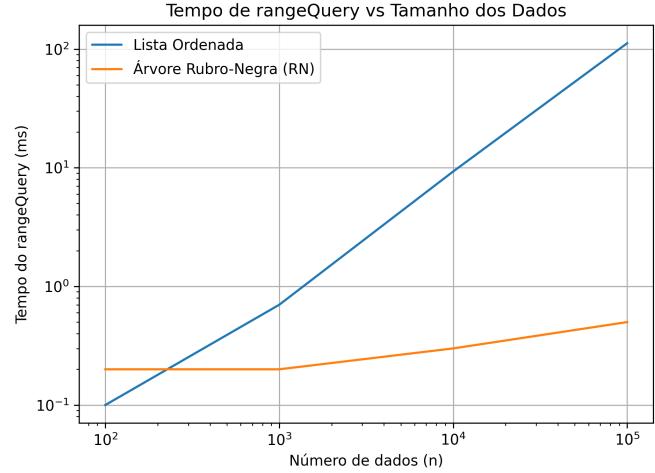


Fig. 3. Tempo de rangeQuery vs tamanho dos dados para Lista Ordenada e Árvore Rubro-Negra

## VI. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

### A. Tempo de Inserção

### B. Tempo de Consulta (rangeQuery)

## VII. ORGANIZAÇÃO DO CÓDIGO E FUNÇÕES PRINCIPAIS

### A. Arquivos

- insertionSort.cpp — Lista ordenada em C++
- insertionsortSensor.ino — Arduino + Lista
- rubroNegra.cpp — Árvore Rubro-Negra
- rubroNegraSensor.ino — Arduino + Árvore RN + menu

### B. Funções

**Lista Ordenada:** insertValue(), removeValue(), getMedian(), getMin(), getMax(), queryRange(), print(), clearList()  
**Árvore Rubro-Negra:** insertValue() + fixInsert(), removeValue() + fixDelete(), inorder(), search(), minimum(), maximum(), getMedian()

### C. Execução

#### PC:

```
g++ codigo.cpp -o exec
./exec
```

#### Arduino:

- selecionar porta COM4
- upload
- abrir monitor serial 115200 baud

Comandos disponíveis: print, remove X, range A B, median, minmax, menu

## VIII. USO DE FERRAMENTAS DE IA GENERATIVA

Durante o desenvolvimento deste trabalho, ferramentas de IA generativa, como o ChatGPT, foram utilizadas para revisão, organização e padronização do texto, formatação de seções, auxílio na explicação de conceitos técnicos, sugestões de estruturação de tabelas, gráficos e códigos em LaTeX, e revisão de código e comentários, garantindo maior clareza e consistência.

## IX. CONCLUSÃO

A comparação experimental demonstrou que a Lista Ordenada é simples e eficiente para pequenas quantidades de dados, porém apresenta degradação linear conforme o volume cresce. A Árvore Rubro-Negra, por sua vez, manteve tempos praticamente constantes e escaláveis, sendo superior para processamento contínuo de dados do DHT22.

Principais observações:

- **Inserções:** Árvore RN é mais rápida para grandes volumes.
- **Remoções:** Árvore RN requer rotações  $O(\log n)$  enquanto a lista desloca elementos  $O(n)$ .
- **Range Query:** Lista eficiente para pequenos intervalos; RB-Tree mantém performance estável com grandes volumes.
- **Mediana:** Lista imediata, Árvore RN exige travessia  $O(n)$  mas ainda escalável.

Portanto:

- **Lista Ordenada** → ideal para projetos pequenos e simples;
- **Árvore RN** → recomendada para aplicações reais, escaláveis e contínuas.

#### REFERENCES

- [1] Cormen, T. et al. Introduction to Algorithms, 3rd Edition, MIT Press, 2009.
- [2] Goodrich, M.; Tamassia, R. Data Structures and Algorithms in C++, Wiley.
- [3] Datasheet do sensor DHT22.
- [4] Documentação oficial Arduino.
- [5] GeeksForGeeks – Red-Black Tree.
- [6] STL C++ Documentation: std::set, std::map internals.