

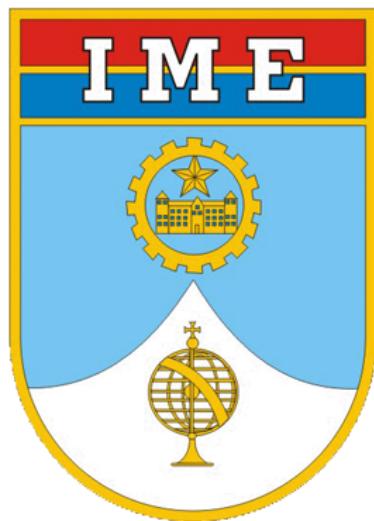
Relatório do trabalho de Monitoramento Inteligente de Carga

Carlos **Miguel** do Carmo **do Ó** Gomes

Daniel Almeida Castro

Gabriel Ramos **Belizario** Rosas

November 12, 2025



Abstract

Este relatório detalha a arquitetura e implementação de um sistema de telemetria para monitoramento de luminosidade. O sistema utiliza o protocolo UDP para comunicação entre um Cliente em C++ (simulando um sistema embarcado) e um Servidor em Python (Host), que exibe os dados em tempo real em uma interface gráfica. A escolha do UDP prioriza a baixa latência e a natureza de "fogo e esquece" da telemetria de sensores, ideal para dados de status.

Contents

1 Arquitetura e Componentes	4
1.1 Diagrama de Classes	4
1.2 Descrição do Sensor e Funcionamento	4
1.2.1 Princípio de Funcionamento do LDR	4
1.2.2 Normalização de Dados	4
2 Fluxogramas de Execução	4
2.1 Fluxograma Cliente C++	5
2.2 Fluxograma Servidor Python	6
3 Instruções Técnicas	7
3.1 Instruções de Compilação e Uso (Cliente C++)	7
3.2 Compilar o Código (Cross-compilation)	7
3.3 Executar na Placa STM32MP1	7
3.4 Instruções de Uso (Servidor Python)	8
4 Resultados e Análise	8
4.1 Capturas de Tela da Interface	8
4.2 Análise dos Valores Medidos	8
4.2.1 Comportamento em Variação de Luminosidade	8
4.2.2 Análise de Perda de Pacotes	9
A Apêndice A: Código-Fonte Cliente C++ (clienteUDP_sensor_1dr.cpp)	9
B Apêndice B: Código-Fonte Servidor Python (servidorUDP_sensor_1dr.py)	13

1 Arquitetura e Componentes

1.1 Diagrama de Classes

O diagrama abaixo ilustra o fluxo de dados do sensor para o host que define a estrutura e as relações entre os módulos de software do Cliente (C++) e do Servidor (Python) e a comunicação via datagramas UDP.

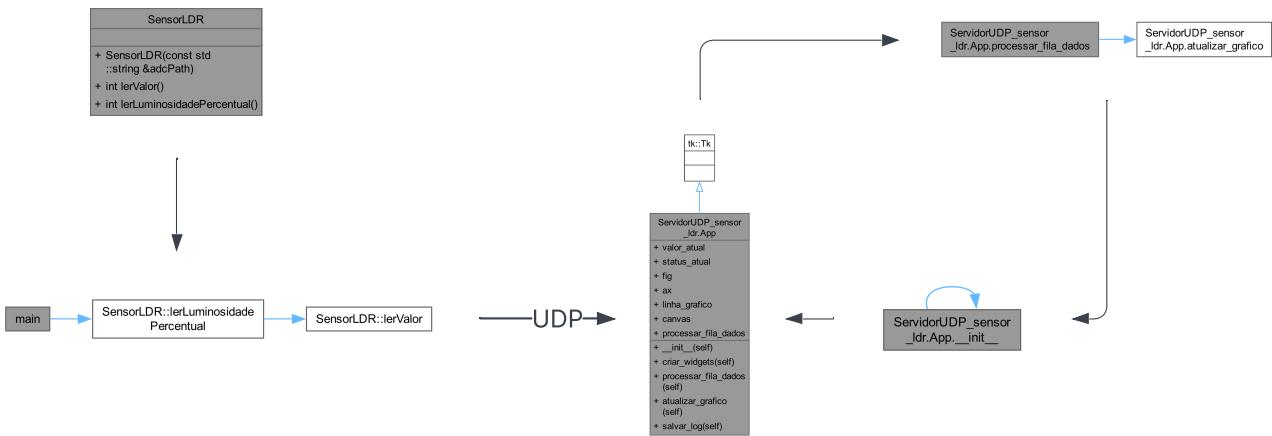


Figure 1: Diagrama de Execução do Cliente C++ (Sistema Embarcado) e do Servidor Python.

1.2 Descrição do Sensor e Funcionamento

O sistema utiliza um Sensor de Luminosidade (LDR, Light-Dependent Resistor) para medir a intensidade da luz ambiente, simulando o comportamento de um sistema embarcado.

1.2.1 Princípio de Funcionamento do LDR

O LDR é um componente cuja resistência elétrica varia em função da intensidade de luz incidente.

- **Escuro:** Alta resistência, resultando em uma leitura de ADC (Analog-to-Digital Converter) próxima de 0.
- **Claro:** Baixa resistência, resultando em uma leitura de ADC próxima do valor máximo (~4095 para um ADC de 12 bits).

No sistema Cliente C++, a leitura do sensor é convertida de um valor cru para uma métrica de luminosidade normalizada.

1.2.2 Normalização de Dados

A leitura digital bruta do ADC é mapeada com uma linearização logarítmica para uma porcentagem (0% a 100%) antes de ser encapsulada no datagrama UDP. Essa normalização é essencial para que o Servidor Python receba um valor universalmente interpretável para exibição gráfica e log.

2 Fluxogramas de Execução

2.1 Fluxograma Cliente C++

O fluxo demonstra o ciclo de leitura, processamento e transmissão periódica do módulo embarcado.

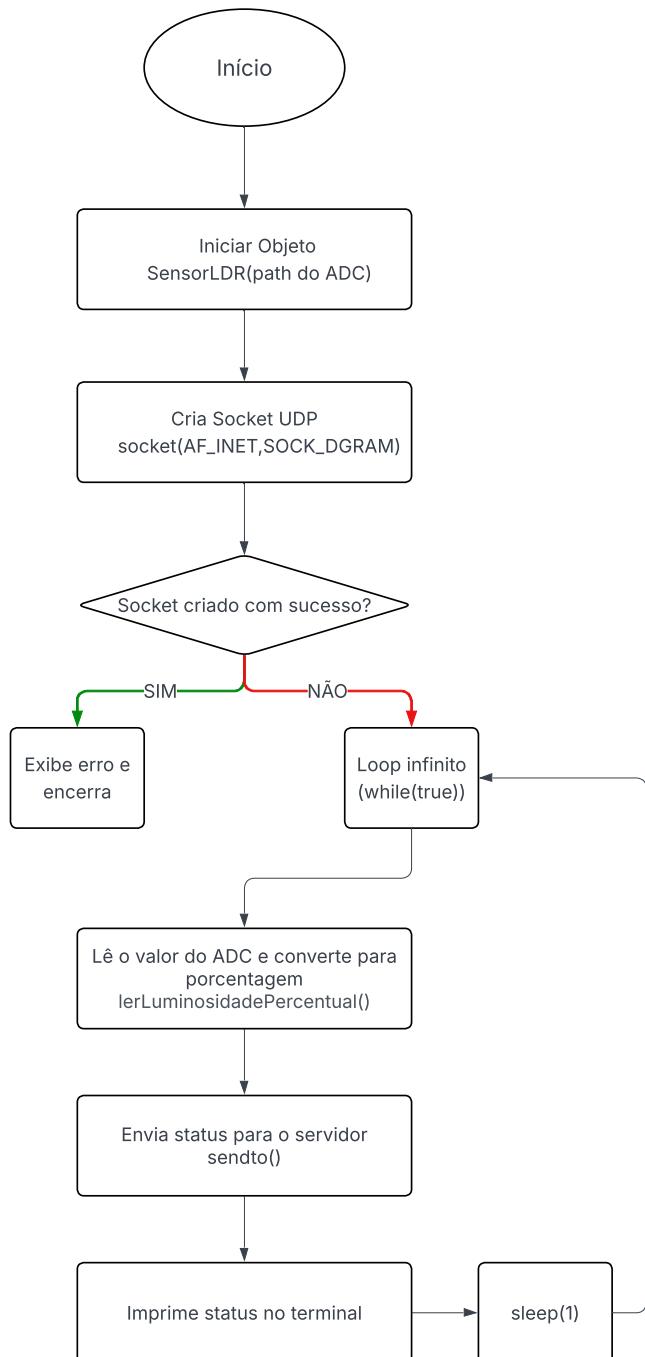


Figure 2: Fluxograma de Execução do Cliente C++ (Sistema Embarcado).

2.2 Fluxograma Servidor Python

O fluxo do servidor destaca o uso de múltiplas threads para separar a escuta de rede da atualização da GUI.

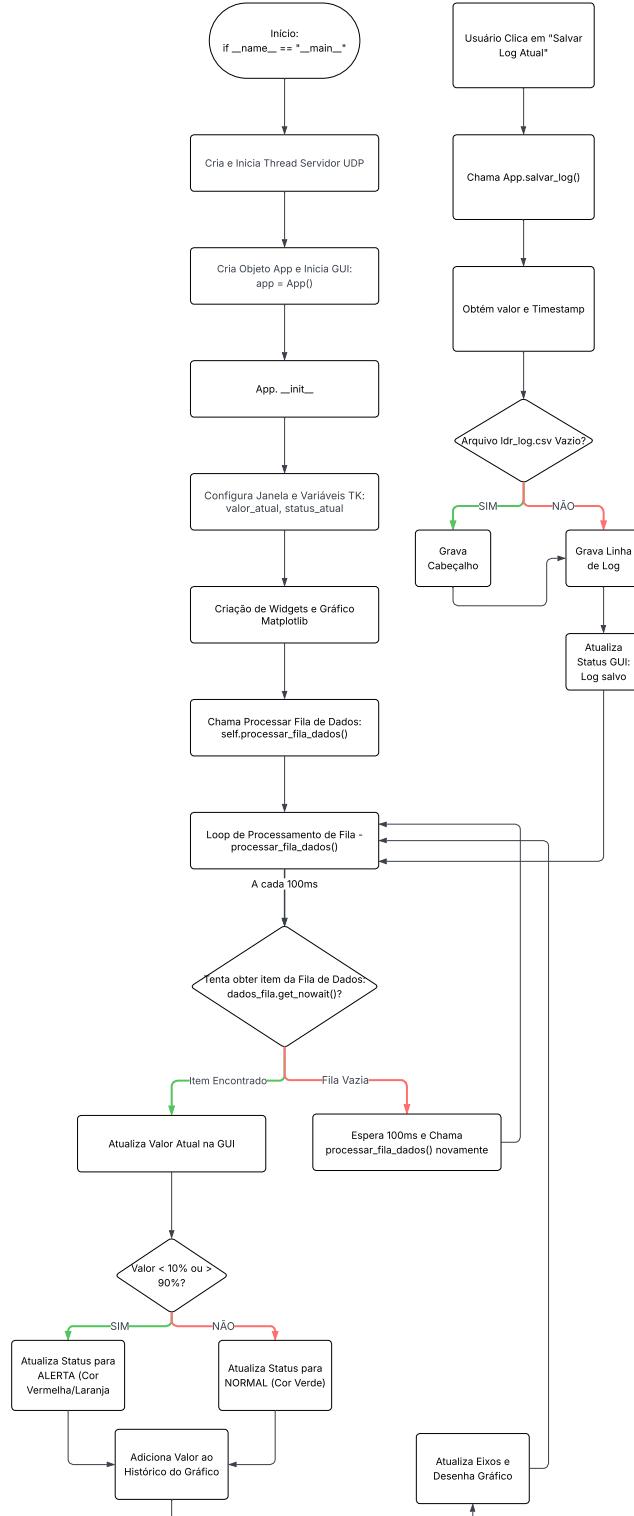


Figure 3: Fluxograma de Execução do Servidor Python (Host de Monitoramento).

3 Instruções Técnicas

3.1 Instruções de Compilação e Uso (Cliente C++)

O Cliente C++ foi projetado para ser compilado em um ambiente Linux (simulando um sistema embarcado) e envia dados para o endereço IP 192.168.42.10 na porta 8080.

3.2 Compilar o Código (Cross-compilation)

O código C++ precisa ser compilado para a arquitetura **ARM** (compilação cruzada) usando uma *toolchain* específica para o kit de desenvolvimento DK1.

1. **Baixar a Toolchain:** Baixe o arquivo `arm-buildroot-linux-gnueabihf_sdk-buildroot.tar.gz` neste [link](#). Esta toolchain permitirá a compilação cruzada para o kit de desenvolvimento DK1.
2. **Instalar a Toolchain:** Extraia o arquivo baixado no seu ambiente de desenvolvimento usando o seguinte comando bash:

```
1 tar -xvf arm-buildroot-linux-gnueabihf_sdk-buildroot.tar.gz
```

Listing 1: Extrair Toolchain

3. **Compilação Cruzada:** Execute o comando abaixo, que utiliza o `g++` da toolchain para gerar o executável `clienteUDP_sensor_ldr_arm` compatível com a arquitetura da placa STM32MP1:

```
1 arm-linux-gnueabihf-g++ -o clienteUDP_sensor_ldr_arm  
clienteUDP_sensor_ldr.cpp
```

Listing 2: Compilação para ARM

3.3 Executar na Placa STM32MP1

Após a compilação cruzada, o arquivo executável deve ser transferido para a placa STM32MP1 e executado.

1. **Transferir o Executável:** Transfira o arquivo executável `clienteUDP_sensor_ldr_arm` para a placa via `scp`.

2. **Permissão de Execução:** No terminal da placa, conceda permissão de execução ao arquivo:

```
1 chmod +x clienteUDP_sensor_ldr_arm
```

Listing 3: Conceder Permissão

3. **Executar o Programa:** Execute o programa no terminal da placa. O programa começará a exibir as leituras de luminosidade no terminal.

```
1 ./clienteUDP_sensor_ldr_arm
```

Listing 4: Execução

3.4 Instruções de Uso (Servidor Python)

O Servidor Python requer as bibliotecas `tkinter` (GUI) e `matplotlib` (Gráficos) para funcionar.

- Dependências:** Instale a biblioteca `matplotlib` se não estiver disponível:

```
1 pip install matplotlib
```

- Execução (No Host):** O script deve ser executado usando o interpretador Python 3:

```
1 python3 servidorUDP_sensor_ldr.py
```

- Rede e Firewall:** O servidor escuta na porta 8080. É **crucial** que o firewall do Host de monitoramento esteja configurado para permitir o tráfego UDP de entrada nesta porta, caso contrário, os dados do Cliente C++ serão bloqueados.

4 Resultados e Análise

4.1 Capturas de Tela da Interface

Esta seção contém as capturas de tela da GUI do Servidor Python em funcionamento, demonstrando o gráfico de histórico em tempo real e o medidor de valor atual.

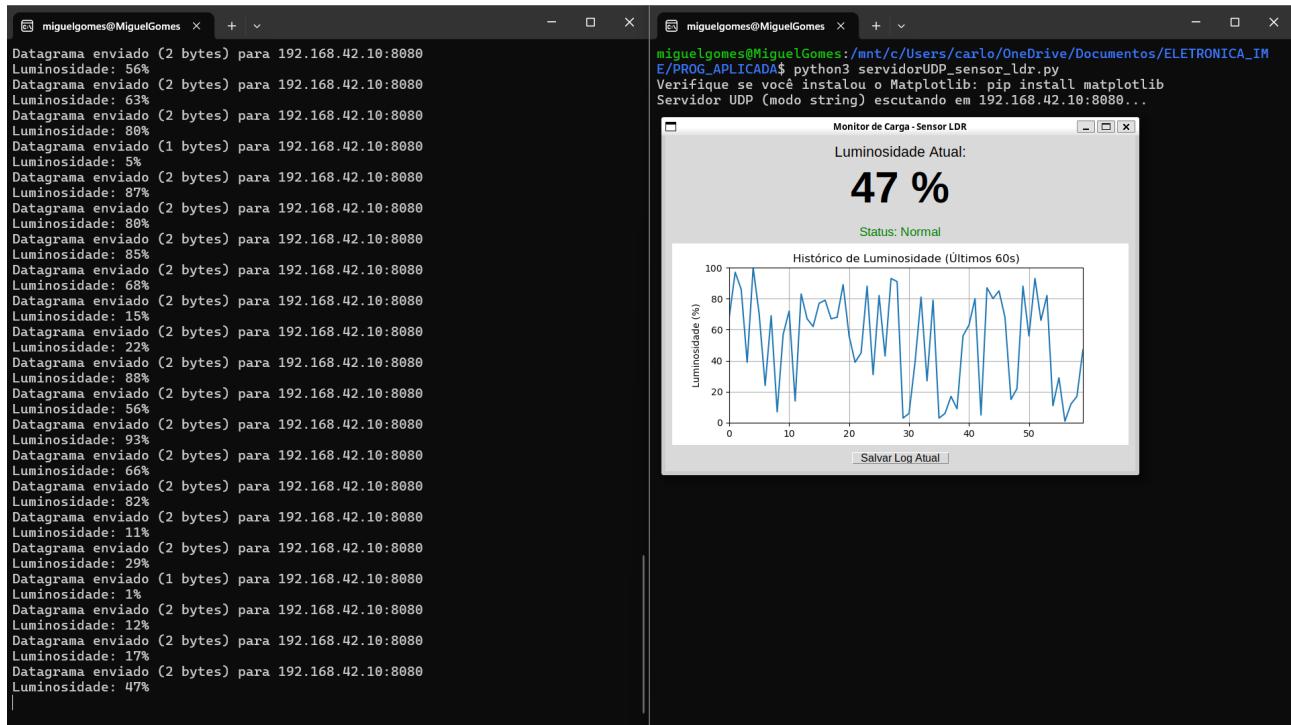


Figure 4: Interface gráfica do Servidor Python exibindo o monitoramento de luminosidade

4.2 Análise dos Valores Medidos

4.2.1 Comportamento em Variação de Luminosidade

O Cliente C++ envia dados a cada 1 segundo. Quando há uma mudança abrupta no ambiente (e.g., luz acesa/apagada), o valor de luminosidade (0% a 100%) deve ser refletido no gráfico do Servidor

Python com uma latência mínima. A simulação no cliente é projetada para variar o valor do sensor de maneira realista.

4.2.2 Análise de Perda de Pacotes

O uso do protocolo UDP (*User Datagram Protocol*) implica que a entrega dos pacotes **não é garantida**. Para aplicações de telemetria em tempo real, onde a informação mais recente é mais valiosa do que a confirmação de uma leitura antiga, o UDP é o protocolo ideal. O Servidor Python lida com a possível perda de datagramas simplesmente mantendo o último valor válido e esperando pelo próximo datagrama, sem implementar mecanismos complexos de retransmissão. A taxa de perda de pacotes será baixa em uma rede local estável.

A Apêndice A: Código-Fonte Cliente C++ (clienteUDP_sensor_ldr.cpp)

```

1  /**
2   * @file clienteUDP_sensor_ldr.cpp
3   * @brief Implementação de leitura de luminosidade utilizando um sensor LDR em um
4   * sistema Linux embarcado.
5   * * @author Miguel Gomes
6   * @date 22 de Outubro de 2025
7   * * @details Este programa lê valores do ADC exportados no sysfs e converte a
8   * resistência do LDR
9   * em uma estimativa percentual de luminosidade (0% = escuro, 100% = claro).
10  * O valor lido é então enviado via protocolo UDP (datagrama) para o servidor
11  * rodando no endereço SERVER_IP (Host Windows/WSL) na porta 8080.
12  */
13
14 #include <iostream>
15 #include <fstream>
16 #include <cstring>
17 #include <unistd.h>
18 #include <cmath>
19 #include <sys/socket.h> // Funções de socket (POSIX)
20 #include <arpa/inet.h> // Funções de conversão de endereço (inet_nton)
21 #include <string> // Necessário para std::string e std::to_string
22
23 using namespace std;
24
25 /** @def SERVER_IP
26  * @brief Endereço IP do servidor (Host Windows/WSL).
27  */
28 #define SERVER_IP "192.168.42.10"
29
30 /** @def PORT
31  * @brief Porta UDP do servidor.
32  */
33 #define PORT 8080
34
35 /** @def BUFFER_SIZE
36  * @brief Tamanho máximo do buffer de comunicação.
37  */
38 #define BUFFER_SIZE 1024
39
40 /**
41  * @class SensorLDR
42  * @brief Classe para leitura e cálculo de luminosidade a partir de um LDR.
43  *
44  * @details A classe realiza a leitura de valores crus do ADC, calcula a resistência
45  * do LDR

```

```

43 * e mapeia para uma escala percentual de luminosidade, utilizando a lei de potência
44 * que relaciona a resistência com a intensidade luminosa (logarítmica).
45 */
46 class SensorLDR {
47     private:
48     /**< Caminho do arquivo sysfs do ADC (ex.: `/sys/bus/iio/devices/.../
        in_voltage13_raw`). */
49     std::string path;
50
51     /**< Resistência aproximada do LDR em ambiente claro (ohms). */
52     float R_CLARO = 146*1e3;
53
54     /**< Resistência aproximada do LDR em ambiente escuro (ohms). */
55     float R_ESCURO = 5*1e6;
56
57     /**< Valor máximo do ADC (12 bits). */
58     const float ADC_MAX = 4095.0;
59
60     /**< Resistência fixa usada no divisor resistivo (ohms). */
61     const float R_FIXO = 10000.0;
62
63     public:
64     /**
65     * @brief Construtor da classe SensorLDR.
66     * @param adcPath Caminho para o arquivo sysfs do ADC.
67     */
68     SensorLDR(const std::string& adcPath) {
69         path = adcPath;
70     }
71
72     /**
73     * @brief Lê o valor cru do ADC.
74     *
75     * @details A leitura é feita diretamente do arquivo de dispositivo (sysfs)
        configurado no path.
76     *
77     * @return Valor inteiro lido diretamente do ADC.
78     */
79     int lerValor() {
80         std::ifstream file(path);
81         int valor = 0;
82         if (file.is_open()) {
83             file >> valor;
84             file.close();
85         } else {
86             // Em um sistema embarcado real, aqui deve haver um tratamento de erro mais
                robusto.
87             cerr << "Erro: Nao foi possivel abrir o arquivo ADC em " << path << endl;
88         }
89         return valor;
90     }
91
92     /**
93     * @brief Calcula a luminosidade em percentual com base no valor lido do ADC.
94     *
95     * @details O cálculo utiliza a fórmula do divisor de tensão para obter a R_LDR,
        e então mapeia a resistência (em escala logarítmica) para uma porcentagem (0-100)
        .
96     *
97     * @return Luminosidade percentual (0 a 100).
98     */
99     int lerLuminosidadePercentual() {
100        int valor = lerValor();

```

```

102 // Fórmula do divisor de tensão: R_LDR = R_FIXO * (ADC_MAX - V_LDR) / V_LDR
103 // Onde V_LDR é valor lido do ADC (ADC_MAX é a tensão de referência)
104 float r_ldr = R_FIXO * (ADC_MAX - valor) / valor;
105
106 float log_r_ldr = log(r_ldr);
107 float log_r_claro = log(R_CLARO);
108 float log_r_escuro = log(R_ESCURO);
109
110 // Limita o valor para 0%
111 if (log_r_ldr > log_r_escuro) {
112     return 0;
113 }
114 // Limita o valor para 100%
115 if (log_r_ldr < log_r_claro) {
116     return 100;
117 }
118
119 // Mapeamento linear na escala logarítmica
120 float porcentagem = 100.0 * (log_r_escuro - log_r_ldr) / (log_r_escuro -
121 log_r_claro);
122
123     return static_cast<int>(porcentagem);
124 }
125
126 /**
127 * @brief Função principal.
128 *
129 * @details Configura o socket UDP para enviar dados para o servidor
130 *         192.168.42.10:8080.
131 * Cria um objeto SensorLDR, lê continuamente a luminosidade, converte o valor inteiro
132 * para string e envia o datagrama para o servidor a cada segundo.
133 *
134 * @return 0 em caso de execução normal.
135 */
136 int main() {
137     // Inicializa o sensor LDR com o caminho do arquivo ADC no sysfs da placa
138     SensorLDR ldr("/sys/bus/iio/devices/iio:device0/in_voltage13_raw");
139
140     int client_socket;
141     struct sockaddr_in server_addr;
142     char buffer[BUFFER_SIZE];
143
144     // 1. Criar o Socket
145     // AF_INET: Endereços IPv4
146     // SOCK_DGRAM: Protocolo UDP (datagrama, sem conexão)
147     client_socket = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
148     if (client_socket < 0) {
149         perror("Erro ao criar o socket UDP do cliente");
150         return -1;
151     }
152
153     // Limpar e configurar o endereço do servidor
154     memset(&server_addr, 0, sizeof(server_addr));
155     server_addr.sin_family = AF_INET;
156     server_addr.sin_port = htons(PORT); // Converte a porta (8080) para a ordem de
157     bytes de rede
158
159     // Converter endereço IP de string para formato binário
160     if (inet_pton(AF_INET, SERVER_IP, &server_addr.sin_addr) <= 0) {
161         perror("Endereço IP inválido/nao suportado");
162         close(client_socket);
163         return -1;
164     }

```

```

162 }
163
164 cout << "Socket UDP criado com sucesso." << endl;
165
166 /**
167 * @brief Loop principal de leitura e envio.
168 * @details O loop executa leituras e envios a cada 1 segundo.
169 */
170 while (true) {
171     memset(buffer, 0, BUFFER_SIZE);
172
173     // O valor lido do sensor é um INT
174     int val = ldr.lerLuminosidadePercentual();
175
176     // Converte o valor inteiro (int) para uma string C++ (std::string)
177     string val_str = to_string(val);
178
179     // Obtém o ponteiro C-style (const char*) da string para uso na função sendto()
180     const char *message = val_str.c_str();
181
182     // Calcula o tamanho da mensagem (apenas o tamanho da string, sem o terminador
183     // nulo)
184     size_t message_len = val_str.length();
185
186 /**
187 * @brief Envia o datagrama UDP.
188 * @details O UDP é um protocolo sem conexão e não confiável; a chegada do pacote
189 * não é garantida pelo protocolo e é gerenciada pela aplicação (se necessário).
190 * O uso do UDP prioriza a baixa latência de dados de status em tempo real.
191 * @param client_socket O descritor do socket.
192 * @param message O ponteiro para os dados a serem enviados.
193 * @param message_len O tamanho dos dados.
194 * @param 0 Flags (geralmente 0 para UDP).
195 * @param server_addr O endereço de destino.
196 * @param sizeof(server_addr) O tamanho da estrutura de endereço.
197 */
198     ssize_t bytes_sent = sendto(client_socket, message, message_len, 0, (const struct
199         sockaddr *)&server_addr, sizeof(server_addr));
200
201     if (bytes_sent == -1) {
202         perror("Erro ao enviar datagrama");
203     }
204     else{
205         cout << "Datagrama enviado (" << bytes_sent << " bytes) para " << SERVER_IP <<
206             ":" << PORT << endl;
207         cout << "Luminosidade: " << message << "%" << std::endl;
208         sleep(1); // Espera 1 segundo antes da próxima leitura/envio
209     }
210 }
211 // O loop é infinito, o código abaixo só seria executado em caso de interrupção
212 // 4. Fechar o Socket
213 close(client_socket);
214 cout << "Socket fechado. Cliente UDP encerrado." << endl;
215 return 0;
216 }
```

Listing 5: Cliente UDP LDR: clienteUDP_sensor_ldr.cpp

B Apêndice	B: Código-Fonte	Servidor	Python
	(servidorUDP_sensor_ldr.py)		

```

1 """
2 @file servidorUDP_sensor_ldr.py
3 @brief Aplicação GUI de Monitoramento em Tempo Real para Sensor LDR via UDP.
4
5 Este script Python implementa um monitor gráfico em tempo real para dados
6 de luminosidade (em porcentagem) recebidos através de pacotes UDP.
7 Ele usa Tkinter para a interface gráfica e Matplotlib para o gráfico de histórico.
8 A principal característica é a função iniciar_servidor_udp, que recebe uma
9 string numérica via UDP e a transforma em um objeto JSON enriquecido
10 para processamento na GUI.
11
12 @author Gabriel Belizario
13 @date 09 Novembro de 2025
14 """
15
16 import tkinter as tk
17 from tkinter import font
18 import socket
19 import threading
20 import json
21 import queue
22 from datetime import datetime
23 from collections import deque
24
25 # Importa as bibliotecas do Matplotlib
26 import matplotlib
27 matplotlib.use("TkAgg")
28 from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
29 from matplotlib.figure import Figure
30
31 # --- Configurações ---
32 ## @def UDP_IP
33 # O endereço IP local para o servidor UDP.
34 UDP_IP = "192.168.42.10" # Alterado para corresponder ao Código 1
35 ## @def UDP_PORT
36 # A porta UDP para escuta. Deve corresponder à porta configurada no transmissor C++.
37 UDP_PORT = 8080
38 ## @def HISTORICO_MAX_PONTOS
39 # Número máximo de pontos de dados a serem mantidos e exibidos no gráfico.
40 HISTORICO_MAX_PONTOS = 60
41
42 # Fila para comunicação entre threads (servidor -> GUI)
43 ## @var dados_fila
44 # Fila thread-safe para armazenar os dicionários/objetos JSON recebidos.
45 dados_fila = queue.Queue()
46 ## @var dados_grafico
47 # Deque para armazenar o histórico de valores para plotagem, com tamanho máximo.
48 dados_grafico = deque(maxlen=HISTORICO_MAX_PONTOS)
49
50 def iniciar_servidor_udp():
51 """
52 @brief Inicia um servidor UDP em um thread separado para receber dados.
53
54 Escuta por pacotes UDP contendo uma string numérica. Converte a string
55 para um número inteiro e a *enriquece* com metadados (ID e unidade)
56 em um formato de dicionário Python (JSON). O dicionário enriquecido
57 é então colocado na fila de dados para ser processado pela thread principal (GUI).
58 O ID do sensor é fixo como "LDR_KY-018" e a unidade como "%".
59

```

```

60     @note Assume-se que os pacotes UDP contêm apenas a representação string de um inteiro
61     .
62     @return Não retorna. Executa em loop infinito.
63     """
64
65     sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
66     sock.bind((UDP_IP, UDP_PORT))
67     print(f"Servidor UDP (modo string) escutando em {UDP_IP}:{UDP_PORT}...")
68
69     while True:
70         try:
71             # 1. Recebe o datagrama (bytes)
72             data, addr = sock.recvfrom(1024)
73
74             # 2. Converte bytes para string e remove espaços em branco (ex: "75")
75             mensagem_string = data.decode('utf-8').strip()
76
77             # 3. Converte a string (ex: "75") para um número inteiro
78             valor_percentual = int(mensagem_string)
79
80             # 4. TRANSFORMAÇÃO PARA JSON (Dicionário Python)
81             dados_json_enriquecidos = {
82                 "id": "LDR_KY-018", # Adiciona o ID do grupo
83                 "valor": valor_percentual,
84                 "unidade": "%" # Adiciona a unidade
85             }
86
87             # 5. Coloca o objeto JSON (dicionário) na fila
88             dados_fila.put(dados_json_enriquecidos)
89
90         except (ValueError, UnicodeDecodeError):
91             # Erro se a mensagem não for um número (ex: "ola")
92             print(f"Erro: Pacote recebido não é um número válido: {data}")
93             except Exception as e:
94                 print(f"Erro no servidor UDP: {e}")
95
96             class App(tk.Tk):
97                 """@class App
98                 @brief Classe principal que define a Interface Gráfica do Usuário (GUI).
99
100                Gerencia a janela principal, exibe o valor atual, o status de alerta,
101                o gráfico de histórico e a funcionalidade de salvar log.
102                Utiliza o método after() do Tkinter para processar a fila de dados de forma
103                assíncrona.
104                """
105
106             def __init__(self):
107                 """
108                 @brief Construtor da classe App.
109                 Inicializa a janela, variáveis de controle e chama a criação de widgets.
110
111                 ## @var valor_atual
112                 # Variável Tkinter para exibir o valor de luminosidade atual.
113                 self.valor_atual = tk.StringVar(value="-- %")
114                 ## @var status_atual
115                 # Variável Tkinter para exibir a mensagem de status/alerta.
116                 self.status_atual = tk.StringVar(value="Aguardando dados...")
117
118             self.criar_widgets()
119             self.processar_fila_dados()
120

```

```

121     def criar_widgets(self):
122         """
123             @brief Configura e empacota todos os componentes da interface.
124             Cria os rótulos, o frame do Matplotlib e o botão de salvar log.
125         """
126         # Frame do Valor Atual
127         frame_valor = tk.Frame(self, pady=10)
128         frame_valor.pack()
129         tk.Label(frame_valor, text="Luminosidade Atual:", font=("Arial", 16)).pack()
130         self.label_valor_atual = tk.Label(frame_valor, textvariable=self.valor_atual, font=(
131             "Arial", 48, "bold"))
132         self.label_valor_atual.pack()
133
134         # Frame de Status (Alerta Visual)
135         self.label_status = tk.Label(self, textvariable=self.status_atual, font=("Arial", 14),
136             , fg="gray")
137         self.label_status.pack(pady=5)
138
139         # Frame do Gráfico
140         frame_grafico = tk.Frame(self)
141         frame_grafico.pack(fill=tk.BOTH, expand=True, padx=10)
142
143         ## @var fig
144         # Figura do Matplotlib para o gráfico.
145         self.fig = Figure(figsize=(6, 3), dpi=100)
146         ## @var ax
147         # Eixo da figura para plotagem.
148         self.ax = self.fig.add_subplot(111)
149         self.ax.set_title("Histórico de Luminosidade (Últimos 60s)")
150         self.ax.set_ylabel("Luminosidade (%)")
151         self.ax.set_ylim(0, 100)
152         self.ax.grid()
153         ## @var linha_grafico
154         # Objeto de linha usado para atualizar o plot de forma eficiente.
155         self.linha_grafico, = self.ax.plot([], [])
156
157         ## @var canvas
158         # Canvas Tkinter que contém a figura do Matplotlib.
159         self.canvas = FigureCanvasTkAgg(self.fig, master=frame_grafico)
160         self.canvas.draw()
161         self.canvas.get_tk_widget().pack(side=tk.TOP, fill=tk.BOTH, expand=True)
162
163         # Frame de Ações (Salvar)
164         frame_acoes = tk.Frame(self, pady=10)
165         frame_acoes.pack()
166         btn_salvar = tk.Button(frame_acoes, text="Salvar Log Atual", font=("Arial", 12),
167             command=self.salvar_log)
168         btn_salvar.pack()
169
170     def processar_fila_dados(self):
171         """
172             @brief Verifica a fila de comunicação em busca de novos dados e atualiza a GUI.
173
174             Utiliza get_nowait() para verificar a fila sem bloquear. Se um dicionário
175             de dados for encontrado, a função atualiza o rótulo de valor, a mensagem
176             de status (alerta) e adiciona o ponto ao gráfico. Chama a si mesma
177             a cada 100ms via self.after().
178         """
179
180         try:
181             dados = dados_fila.get_nowait()
182
183             # Esta lógica funciona porque 'dados' é o dicionário

```

```

181     # que a função 'iniciar_servidor_udp' criou
182     valor = dados.get('valor', 0)
183
184     # 1. Atualiza o Valor Atual
185     self.valor_atual.set(f"{valor} %")
186
187     # 2. Atualiza o Alerta Visual
188     if valor < 10:
189         self.status_atual.set("ALERTA: Escuridão detectada! (Possível violação)")
190         self.label_status.config(fg="red")
191     elif valor > 90:
192         self.status_atual.set("ALERTA: Luz intensa detectada! (Invólucro aberto)")
193         self.label_status.config(fg="orange")
194     else:
195         self.status_atual.set("Status: Normal")
196         self.label_status.config(fg="green")
197
198     # 3. Atualiza o Histórico Gráfico
199     dados_grafico.append(valor)
200     self.atualizar_grafico()
201
202 except queue.Empty:
203     # Não havia dados na fila, apenas continua
204     pass
205 finally:
206     self.after(100, self.processar_fila_dados)
207
208 def atualizar_grafico(self):
209 """
210     @brief Atualiza os dados (eixos X e Y) do gráfico Matplotlib.
211     O eixo Y é o histórico de dados_grafico. O eixo X é o índice da lista.
212 """
213     self.linha_grafico.set_ydata(list(dados_grafico))
214     self.linha_grafico.set_xdata(range(len(dados_grafico)))
215     self.ax.set_xlim(0, HISTORICO_MAX_PONTOS - 1)
216     self.canvas.draw()
217
218 def salvar_log(self):
219 """
220     @brief Salva o valor atual de luminosidade em um arquivo CSV (ldr_log.csv).
221     Inclui um timestamp para cada registro e um cabeçalho se o arquivo for novo.
222 """
223     valor_log = self.valor_atual.get().split(' ')[0]
224     timestamp = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
225     linha = f'{timestamp},{valor_log}\n'
226
227     try:
228         with open("ldr_log.csv", "a") as f:
229             if f.tell() == 0:
230                 f.write("timestamp,luminosidade_percent\n")
231             f.write(linha)
232             self.status_atual.set(f"Log salvo com sucesso às {timestamp}")
233             self.label_status.config(fg="blue")
234     except Exception as e:
235         self.status_atual.set(f"Erro ao salvar log: {e}")
236         self.label_status.config(fg="red")
237
238     # --- Ponto de Entrada Principal ---
239     if __name__ == "__main__":
240         # 1. Instala a dependência (se ainda não o fez)
241         print("Verifique se você instalou o Matplotlib: pip install matplotlib")
242
243         # 2. Inicia o thread do servidor UDP (com a nova lógica)

```

```
244     servidor_thread = threading.Thread(target=iniciar_servidor_udp, daemon=True)
245     servidor_thread.start()
246
247     # 3. Inicia a aplicação GUI
248     app = App()
249     app.mainloop()
```

Listing 6: Servidor UDP GUI: servidorUDP_sensor_ldr.py