



Estudo de desempenho da tecnologia UWB na estimativa de distância frente as tecnologias convencionais: desenvolvimento de bibliotecas

1. Resumo

Os transportes metroviários são amplamente reconhecidos como um dos pilares do transporte em massa, sendo extremamente eficientes quando se trata de custo benefício para os seus passageiros. Pensando em como tornar o sistema de monitoramento metroviário mais eficiente e tecnológico, a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, responsável por operar seis linhas que atendem uma significativa parte do perímetro urbano da cidade, junto aos alunos da FEI, decidiu iniciar o estudo para avaliar o sistema Communication Based Train Control (CBTC) Ultra Wide Band (UWB) que tem como foco modificar a abordagem para a estimativa de localização dos trens, aproveitando as características da tecnologia UWB.

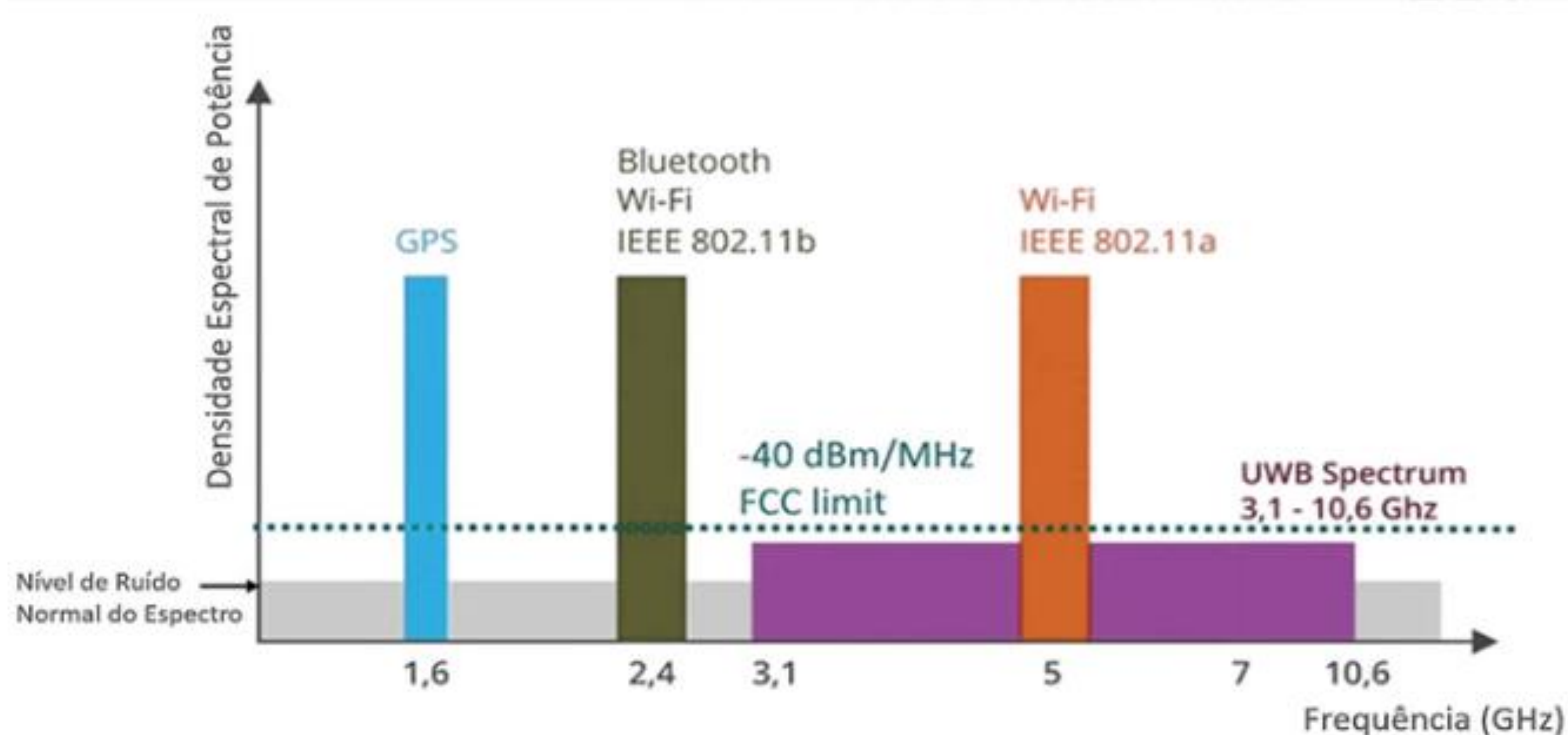
2. Objetivos

- Estudar a eficiência da tecnologia UWB, por meio do emprego do transceiver DW1000 e testes de bancada.
- Desenvolver biblioteca de software, para reutilização em fases futuras desse projeto.
- Validar o desempenho das funcionalidades da biblioteca, a partir de testes em ambiente controlado.

3. Vantagens da tecnologia UWB :

- Precisão de localização
- Alta taxa de transferência de dados Possibilidade de trabalho em ambientes internos/fechados
- Robustez a interferência de outros sinais e efeitos multicaminho

Comparação das faixa de frequência da tecnologias

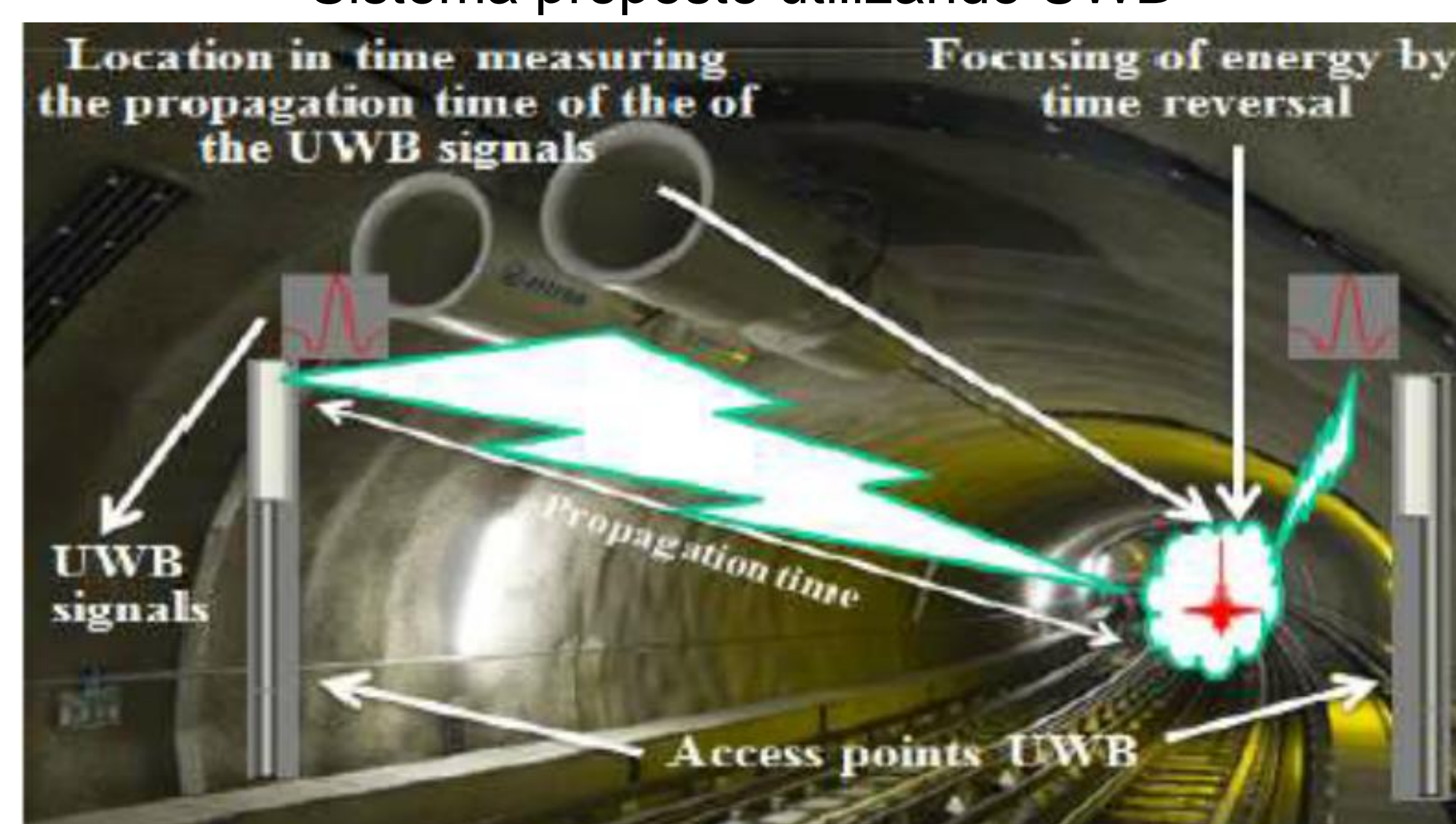


Fonte – Autores

5. Ferramentas

- 2 Placas de desenvolvimento ESP32 UWB PRO
- ESP-IDF
- Ambiente de desenvolvimento integrado IDE Eclipse para linguagem C
- Sistema Operacional FreeRTOS
- Microcomputador IBM-PC Windows
- Doxygen

Sistema proposto utilizando UWB



Fonte - https://www.researchgate.net/figure/TR-UWB-localization-system-proposed_fig1_234080626

4. Normas consultadas como referencias:

Para realizar o projeto utilizamos duas normas metroferroviárias e outra para métodos de desenvolvimento de código.

- **EN 50128:** A norma estabelece a segurança e a confiabilidade dos sistemas de software no ambiente ferroviário, definindo níveis de integridade de software (SIL) e métodos para garantir a conformidade.
- **IEEE 1474-1:** Esta norma estabelece requisitos funcionais e não funcionais para o desenvolvimento de uma solução CBTC.
- **IEC 60730:** Esta norma estabelece métodos de diagnóstico e testes para garantia da operação segura de hardwares e softwares embarcados em equipamentos eletrônicos.

Placa de desenvolvimento ESP32 UWB PRO



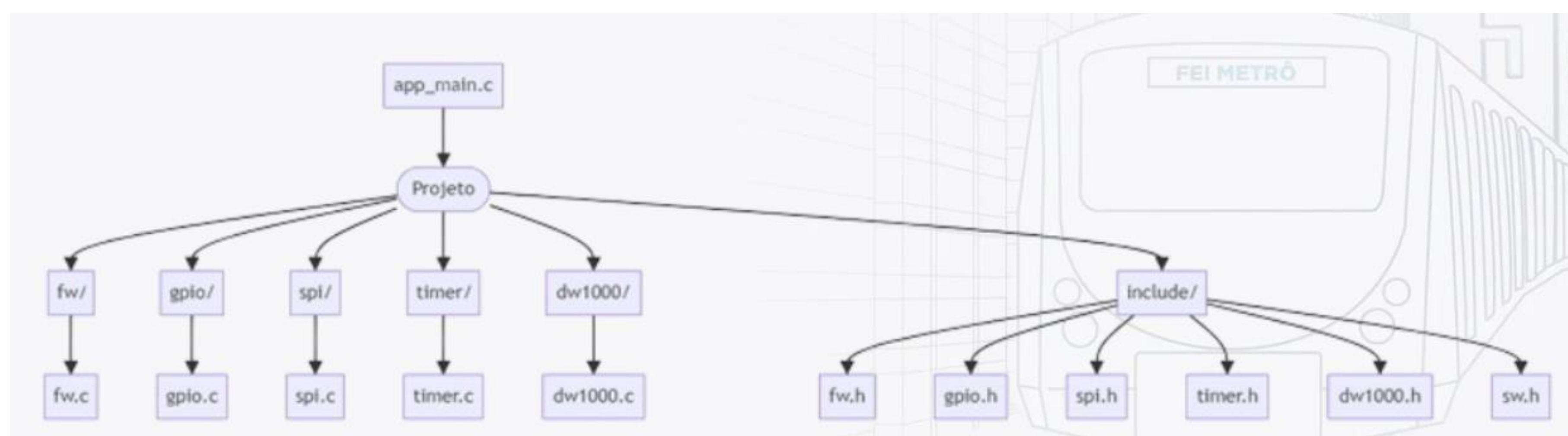
Fonte – Autores



6. Bibliotecas de software

Bibliotecas de software desenvolvidas

- GPIO
- Timer
- SPI
- DW1000
- SW
- FW
- Main

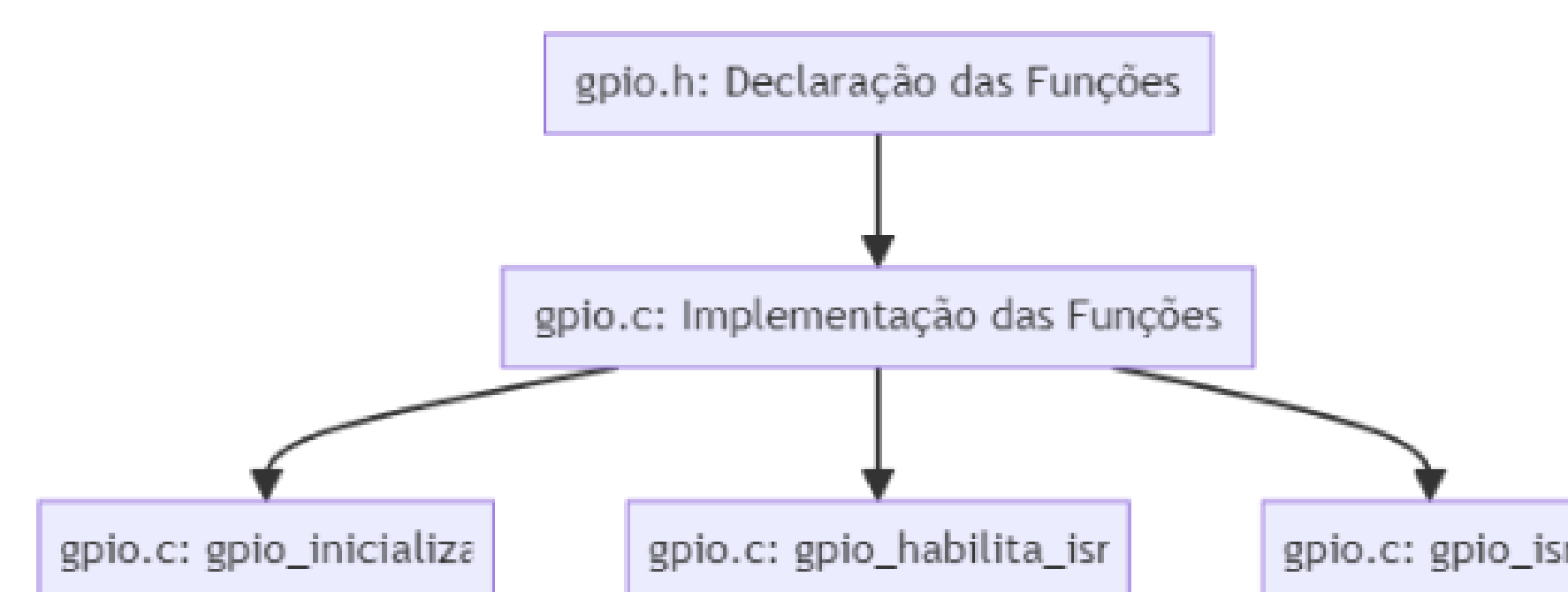


Fonte – Autores

6.1 GPIO

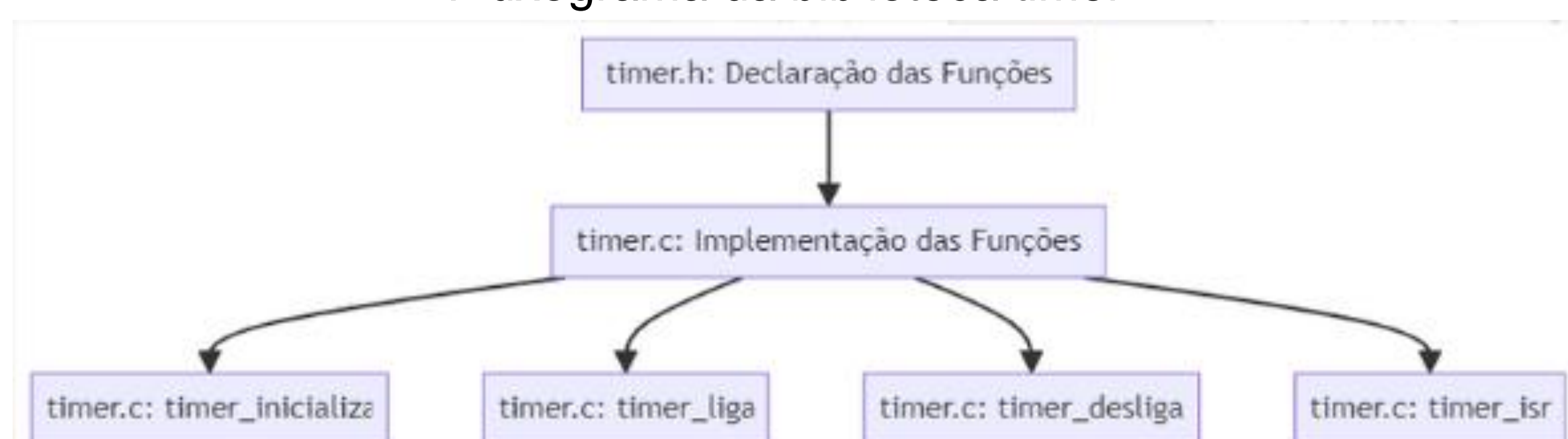
- **gpio_inicializa**: Configura os pinos GPIO, desabilitando interrupções e configurando os pinos como saída.
- **gpio_habilita_isr**: Habilita a interrupção para os pinos GPIO especificados.
- **gpio_isr**: Função de serviço de interrupção que é chamada quando ocorre uma interrupção GPIO, sinalizando um evento.

Fluxograma da biblioteca GPIO



Fonte – Autores

Fluxograma da biblioteca timer



Fonte – Autores

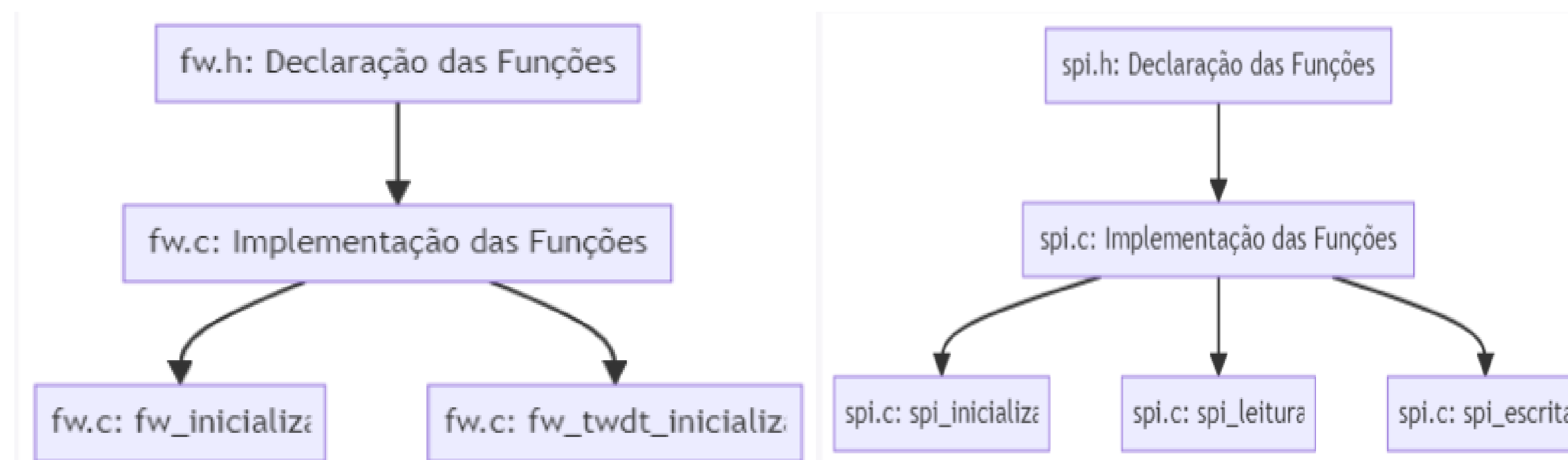
6.2 Timer

- **timer_inicializa**: Inicializa o timer periódico, configurando seu callback e nome.
- **timer_liga**: Liga o timer periódico.
- **timer_desliga**: Desliga o timer periódico.
- **timer_isr**: Função de serviço de interrupção do timer que é chamada quando o timer dispara.

6.3 SPI

- **spi_inicializa**: Inicializa o dispositivo SPI, configurando o handle e as transações SPI.
- **spi_escrita**: Realiza uma operação de escrita SPI para um determinado registrador e sub-registrador.
- **spi_leitura**: Realiza uma operação de leitura SPI para um determinado registrador e sub-registrador.

Fluxograma da biblioteca FW e SPI



Fonte – Autores

6.4 FW

- **fw_inicializa**: Configura e prepara todos os componentes e variáveis necessários para o funcionamento correto do sistema UWB
- **fw_twdt_inicializa**: configurar e inicializar o watchdog timer de tarefa (TWDT) no microcontrolador ESP

6.6 SW

- Definições as constantes de UWB_ANCORA e UWB_TAG
- Utiliza da função “enum” para declarar os estados como dados numerados, uma coleção de constantes inteiras identificadas por nomes
- Declara a variável global “Uwb_t”

6.5 DW

- **dw1000_inicializa**: Configura os registros necessários e inicializa o hardware do DW1000 para operação.
- **dw1000_reset**: Reinicia o DW1000 com um atraso especificado para garantir que o hardware seja redefinido corretamente.
- **dw1000_int_trata**: Lida com eventos de interrupção específicos, processando as flags e ações necessárias quando uma interrupção é detectada.
- **dw1000_transmite_dados**: Envia um buffer de dados de tamanho especificado através do hardware do DW1000. **dw1000_habilita_rx**: Configura o DW1000 para começar a receber dados.
- **dw1000_desabilita_rx**: Configura o DW1000 para parar de receber dados.

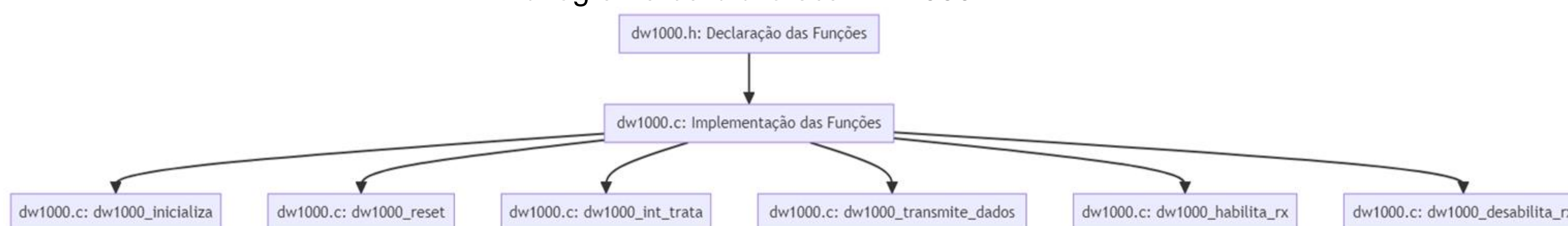
6.7 Main

app_main: Função principal que inicializa o sistema e configura o estado inicial do módulo UWB

sw_task_processo_localizacao: Função de tarefa que gerencia o processo de localização. É executada em um loop infinito até que a tarefa seja deletada.

sw_processo_localizacao: Função que realiza o processamento de eventos de localização baseando-se na máquina de estados definida para o módulo UWB.

Fluxograma da biblioteca DW1000



Fonte – Autores



7. Resultados

Entre os resultados, foram obtidos valores de testes indoor e outdoor, além disso também foi desenvolvida uma documentação das bibliotecas para facilitar na utilização futura.

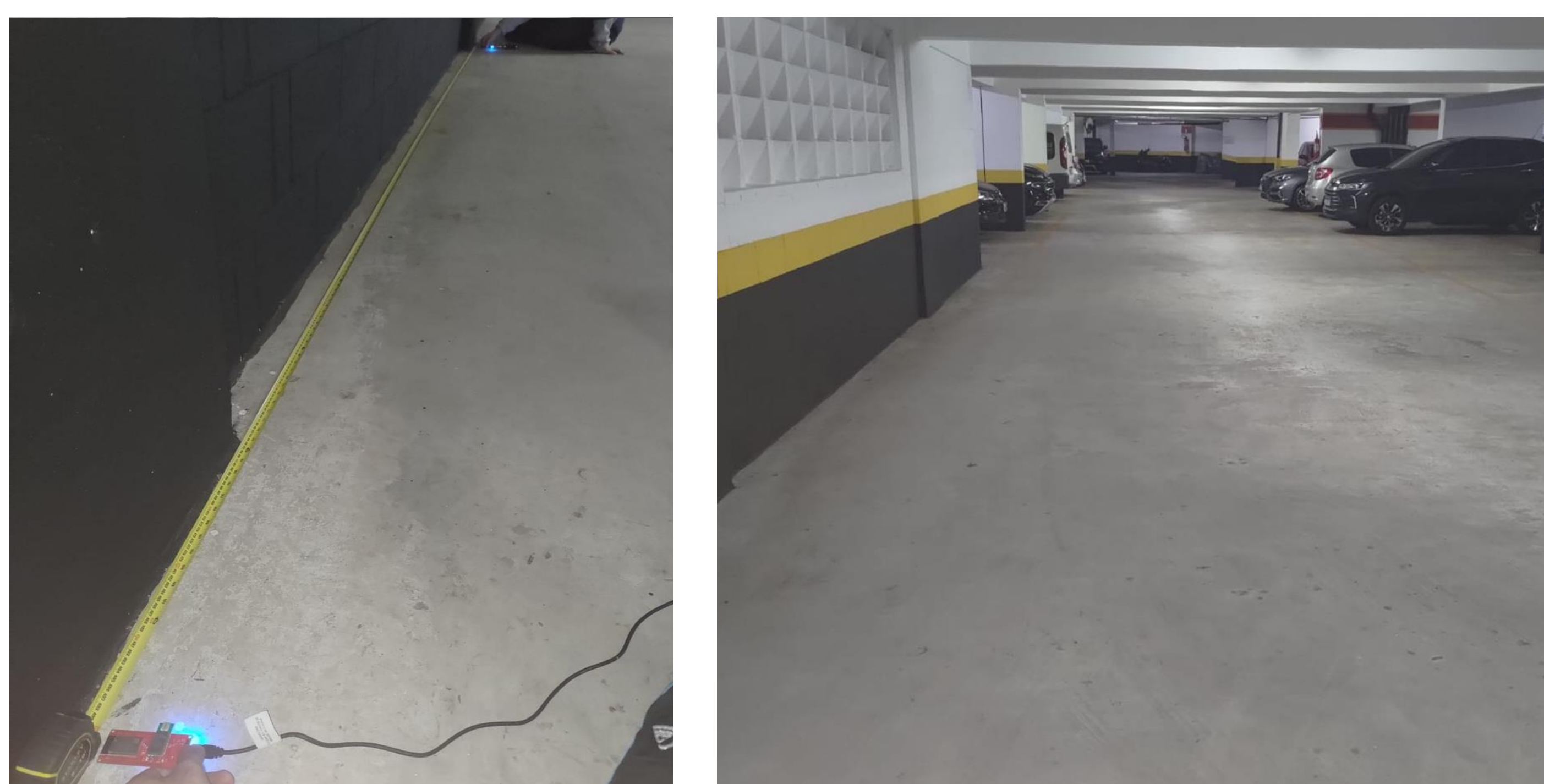
7.1 . Resultados Indoor

- Precisão Absoluta: Diferença máxima entre as medições UWB e a medição real foi de 39.59 cm
- Distancia máxima: Distancia máxima atingida foi de 33.89 m

7.2 . Resultados Outdoor

- Precisão Absoluta: Diferença máxima entre as medições UWB e as medições reais foram de 93.85 cm.
- Distancia máxima: Distancia máxima atingida foi de 28.04 m
- Robustez do Sistema: O sistema manteve a comunicação das medições mesmo em um ambiente com obstáculos físicos.

Ambiente dos teste Indoor e resultados no local



Fonte – Autores

Ambiente dos teste Outdoor e resultados no local



Fonte – Autores

8. Conclusão

- A tecnologia se mostrou eficiente pois atendeu a maior parte dos parâmetros base da norma IEEE 1474, mas ainda apresenta espaço para melhorias.
- As bibliotecas atenderam os objetivos podendo ser utilizada para testes futuros de aplicação, mesmo precisando de adequações como permitir ao usuário configurar os parâmetros de inicialização e definir se o dispositivo é uma tag ou uma âncora.
- Desempenho foi validado, por meio dos testes foi possível observar o correto funcionamento, mesmo ainda precisando de ajustes para melhoria da eficiencia

Comparação dos resultados com a norma IEEE 1474-1

	Norma IEEE 1474	Teste Indoor	Teste Outdoor	Comparação
Resolução	0.25 até 6.25 m	0.04m	0.04m	Desempenho melhor que a norma estabelece
Precisão durante o trajeto	+5.0 até +10.0 m	+0.39 m	+0.94 m	Desempenho melhor que a norma estabelece
Precisão na area da estação	+0.25 m	+0.39 m	+0.94 m	Desempenho próximo a norma
Precisão na parada	+0.05 m	+0.39 m	+0.94 m	Desempenho distante da norma

Fonte – Autores