

Sistema de rastreamento e alerta de pessoas em zonas de risco

Jessica Sousa

Engenharia Eletrônica

Faculdade de Ciência, Tecnologia e Engenharia - UnB Gama

Email: jessica.kamily@aluno.unb.br

Abstract—Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de rastreamento em tempo real e emissão de alertas automáticos para ambientes industriais críticos, com foco em plataformas de extração de petróleo. Utilizando a tecnologia Ultra Wideband (UWB) e dispositivos vestíveis, o sistema permite a localização precisa de trabalhadores e a notificação imediata por vibração ao identificar entrada em zonas de risco previamente definidas. A arquitetura do sistema é composta por tags, âncoras e um gateway embarcado em uma Raspberry Pi, que atua como núcleo de processamento local e comunicação via protocolo MQTT. A proposta é desenvolvida como uma prova de conceito acadêmica, aplicada na disciplina de Sistemas Operacionais Embarcados, com foco em demonstrar a viabilidade de soluções inteligentes para prevenção de acidentes em áreas classificadas, explorando conceitos como comunicação serial, sistemas multitarefa, sincronização entre processos e tempo real em sistemas Linux embarcados.

Palavras-chave — Ultra Wideband, zonas de risco, rastreamento em tempo real, dispositivos vestíveis, Raspberry Pi, sistemas embarcados, MQTT.

I. INTRODUÇÃO

Ambientes industriais — como plataformas de extração de petróleo, mineradoras e plantas químicas — apresentam uma série de características que os tornam particularmente propensos a acidentes. A presença de maquinário pesado, substâncias inflamáveis, ruídos intensos e áreas de acesso restrito impõe desafios significativos à segurança do trabalho [1]. Para regulamentar tais ambientes e reduzir a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho, órgãos reguladores estabelecem normas técnicas que classificam as áreas industriais em zonas de risco, de acordo com o grau de periculosidade. Essa classificação subsidia medidas preventivas e delimita áreas críticas que requerem atenção e controle redobrados. Indústrias de mineração e extração de petróleo são exemplos emblemáticos de setores que operam em ambientes considerados críticos, nos quais os profissionais estão expostos a ameaças como incêndios, explosões, contaminações, choques térmicos, atropelamentos e lesões provocadas por máquinas pesadas [2].

Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP), o Brasil registrou 731 acidentes apenas em 2024 no setor de exploração de petróleo — uma média de dois acidentes por dia, atingindo um recorde em comparação a anos anteriores. Esses números revelam que, apesar das regulamentações existentes, ainda há lacunas na capacidade de monitoramento, resposta e prevenção nos ambientes de trabalho, reforçando a urgência de intervenções eficazes [3].

Diante desse cenário, a incorporação de tecnologias emergentes tem se tornado uma estratégia fundamental para reforçar a segurança em ambientes industriais de alto risco. O uso de tecnologias embarcadas, integração de sensores, sistemas de rastreamento e dispositivos vestíveis oferece novas possibilidades para o monitoramento dos trabalhadores em tempo real. Tais sistemas permitem a emissão automática de alertas quando um profissional se aproxima ou adentra uma zona classificada como perigosa, ampliando a rastreabilidade operacional e favorecendo a tomada de decisão preventiva.

Outro desafio importante nesse contexto é que as zonas de risco nem sempre são fixas. Em muitos casos, a periculosidade de uma área varia conforme o deslocamento de máquinas, mudanças no processo produtivo ou a ativação de determinados equipamentos. Essa dinâmica dificulta a sinalização tradicional e torna arriscado confiar exclusivamente na percepção dos trabalhadores para evitar situações críticas. Assim, sistemas inteligentes capazes de identificar e atualizar continuamente a classificação das zonas de risco, comunicando perigos de forma precisa, clara e imediata, tornam-se essenciais para garantir um ambiente de trabalho mais seguro, eficiente e resiliente.

II. JUSTIFICATIVA

Ambientes industriais críticos, como plataformas de petróleo, apresentam alta incidência de acidentes, isso se deve, em grande parte, à limitação de sistemas tradicionais de segurança, que não acompanham a dinamicidade das operações nem oferecem resposta em tempo real. A adoção de tecnologias embarcadas, como dispositivos vestíveis, permite monitorar continuamente a posição dos trabalhadores e emitir alertas ao detectar aproximação de zonas de risco. Essa abordagem reduz a dependência da sinalização fixa e da percepção humana, aumentando a eficácia na prevenção de acidentes. Diante disso, o desenvolvimento de um sistema inteligente, adaptável e seguro justifica-se como uma solução promissora para a redução de acidentes em setores industriais de alto risco.

III. OBJETIVOS

A proposta consiste no desenvolvimento de um sistema de rastreamento inteligente, baseado em dispositivos vestíveis e comunicação embarcada, capaz de emitir alertas automáticos individualizados aos profissionais que se aproximarem de zonas de risco dinâmicas em ambientes industriais críticos. Os objetivos específicos do projeto são definidos por:

- Revisão das soluções tecnológicas aplicadas à segurança em áreas classificadas, com foco em dispositivos vestíveis e rastreamento em tempo real;
- Integração de sensores de localização e módulos de comunicação embarcada;
- Implementação de um mecanismo de alerta local no dispositivo vestível para notificar o usuário em tempo real;
- Validar o funcionamento do sistema em ambiente controlado, simulando zonas de risco dinâmicas e avaliando tempo de resposta;

IV. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A busca por soluções mais eficazes de segurança ocupacional em ambientes industriais críticos, como plataformas de petróleo, tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de rastreamento em tempo real (RTLS), conforme pode ser visto nas soluções existentes. Nesse contexto, há tecnologias baseadas em GPS (sistema de posicionamento global), RFID (identificação em radiofrequência), BLE (Bluetooth de baixa energia), WPS (sistema de posicionamento wi-fi), LIDAR (detecção e distanciamento por luz), cameras, etc [4]. No entanto a tecnologia Ultra Wideband (UWB) tem se destacado como uma das mais promissoras devido à sua alta precisão, confiabilidade em ambientes complexos e baixa latência de resposta.

Diferente de sistemas baseados em RFID, o qual possuem baixo custo de produção e cuja aplicação é amplamente difundida em rastreamento de ativos, apresentam precisão espacial limitada, enquanto o UWB permite localizar pessoas e objetos com precisão centimétrica, mesmo em ambientes com estruturas metálicas ou interferências eletromagnéticas — características comuns em plantas industriais. Enquanto o RFID passivo depende da proximidade entre leitor e etiqueta, sendo mais adequado para pontos fixos de controle, o UWB é ideal para aplicações dinâmicas, com precisão média inferior a 30 cm. De acordo com Deputter, o UWB supera tecnologias como BLE, Wi-Fi e RFID tanto em precisão quanto em estabilidade, tornando-se a opção preferencial para aplicações industriais de segurança e automação avançada [5] [6].

Em ambientes com atmosferas explosivas, como em plataformas de extração de petróleo, a classificação de áreas perigosas é feita com base na frequência e duração da presença de gases, vapores ou poeiras inflamáveis. Segundo as diretrizes internacionais IEC e a norma brasileira NR-37, essas áreas são classificadas em: Zona 0 (presença contínua), Zona 1 (presença ocasional) e Zona 2 (presença eventual e breve). Essa categorização orienta a seleção de equipamentos e sistemas eletrônicos com certificações específicas, como a ATEX, garantindo que não se tornem fontes de ignição em atmosferas potencialmente explosivas, sendo necessário a adoção de requisitos criteriosos no desenvolvimento desses equipamentos, tais como limitação de potência radiada, frequência de operação para equipamentos wireless, encapsulamento anti-explosivo de sistemas eletrônicos, entre outros [7] [8].

Nesse cenário, os dispositivos vestíveis têm se consolidado como uma solução eficaz para mitigar riscos ocupacionais. Equipados com sensores e módulos de rastreamento como

UWB, esses dispositivos possibilitam o monitoramento em tempo real da posição dos trabalhadores, além de emitir alertas automáticos por vibração, som ou luz ao detectar a entrada em zonas classificadas como perigosas (Zonas 0, 1 e 2). Esses sistemas aumentam a rastreabilidade das operações, reduzem a dependência de sinalizações fixas e proporcionam respostas rápidas em situações críticas. Experiências práticas, como as divulgadas pela Petrobras, evidenciam o impacto positivo da adoção de dispositivos vestíveis integrados à análise de risco operacional, reduzindo significativamente o número de ocorrências em campo [9].

V. SOLUÇÕES EXISTENTES

Visando solucionar os problemas previamente expostos, levando em consideração os requisitos necessários diante os cenários da aplicação final e a conformidade com os objetivos apresentados, além do refino sobre a tecnologia a ser utilizada de acordo com as características de cada uma na literatura, é possível encontrar soluções comerciais próximas à proposta apresentada. As soluções a seguir possuem similaridades com a proposta apresentada, no entanto cada uma com suas particularidades, sendo elas:

- **Zebra - MotionWorks** - solução corporativa de rastreamento de ativos e pessoas em tempo real (RTLS) [10].
- **Kinexon - SafeZone** - foca em segurança industrial com delimitação de zonas de risco, utilizando tecnologias UWB, BLE e RFID em sistemas RTLS [11].
- **Tsingual - UWB RTLS** - aplicações para rastreamento de pessoas, veículos e ativos com ampla área de utilização [12].
- **Sewio - RTLS** – plataforma RTLS industrial com suporte visual e integração com ERPs (Sistemas de Planejamento de Recursos) industriais [13].

Tais soluções apesar de se mostrarem competitivas entre si, possuem características e limitações, uma vez que podem apresentar elevado número de componentes necessários para instalação, limitações de ambientes operacionais (ausência de informações sobre ambientes críticos), não informam ou não possuem sistema de emissão de alertas para o usuário ou não há menção de integração com sistemas de detecção de zonas proibidas dinâmicas.

VI. PROPOSTA TÉCNICA

Visando a solução de um problema real de aplicação em ambientes industriais, a proposta consiste na implementação de um sistema de rastreamento e alerta em tempo real baseado em tecnologia UWB. Sendo o sistema composto por três elementos principais: tags (dispositivos vestíveis), âncoras (pontos fixos de referência no ambiente) e um gateway de processamento local. Cada tag transmite sinais UWB que são recebidos por ao menos três âncoras posicionadas estrategicamente no ambiente monitorado. A partir da triangulação dos sinais recebidos, o sistema identifica e calcula a posição exata da tag em tempo real. Enviando esses dados ao gateway, que é responsável por processar a informação, interpretar a localização e verificar se o trabalhador se encontra dentro de uma área classificada como zona de risco (red zone).

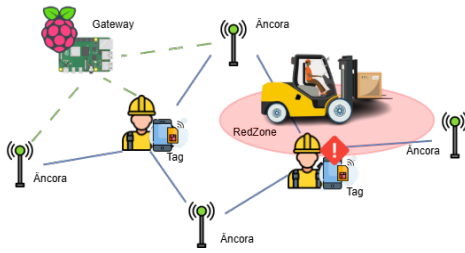


Fig. 1. Diagrama da solução

As tags são compostas de um módulo microcontrolado (DWM1001), motor de vibração, bateria com carregamento por indução e sistema de comunicação em radiofrequência UWB operando entre 6-8GHz. As âncoras possuem hardware similar, dispensando a necessidade do motor de vibração e fonte de alimentação cabeada.

A Raspberry Pi atua como gateway local, sendo responsável pela comunicação com as tags por meio da interface UART (protocolo de comunicação serial assíncrono), e pela publicação das posições via protocolo MQTT (protocolo de comunicação baseado no modelo publicador/assinante). A plataforma possibilita o uso de múltiplos processos, gerenciamento de threads, sincronização via semáforos e implementação de filas de mensagens, além de oferecer suporte à comunicação em rede e controle de periféricos via GPIO — recursos que serão explorados nas próximas etapas do projeto.

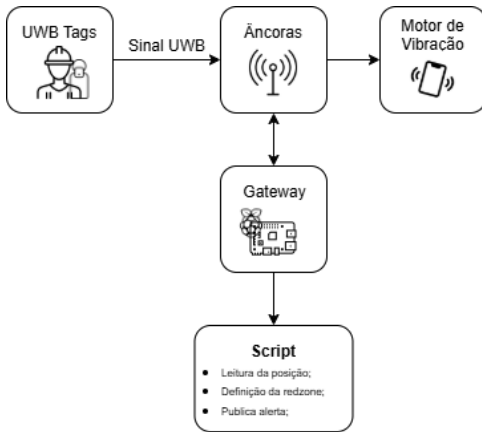


Fig. 2. Arquitetura da solução

A imagem demonstra como funcionará a arquitetura da solução e a integração entre os componentes, o qual a tag transmite a posição, as âncoras calculam a localização e envia para a raspberry que lê a posição via UART, e então via script verifica se a posição marcada corresponde a uma redzone mapeada, se sim ativa o motor de vibração na tag, se não continua o monitoramento.

VII. REQUISITOS

Os requisitos consistem na definição documentada do que é necessário no projeto. Eles podem ser subdivididos em requisitos funcionais, responsáveis pela definição das funcionalidades de um sistema, e requisitos não funcionais, os quais define como o sistema deve operar [14].

A. Requisitos funcionais

- **RF01.** O sistema deve permitir o rastreamento em tempo real da posição de ao menos uma pessoa em ambiente simulado.
- **RF02.** O dispositivo vestível deve emitir alertas (por vibração) sempre que o usuário adentrar uma zona de restrita.
- **RF03.** O sistema deve identificar e atualizar dinamicamente as zonas de risco, com base em parâmetros operacionais.
- **RF04.** A comunicação entre os dispositivos (tags e âncoras UWB) e o servidor central deve ocorrer de forma contínua e confiável.
- **RF05.** O sistema deve registrar eventos e permitir a visualização dos dados por meio de um painel acessível via Raspberry Pi.
- **RF06.** O sistema deve permitir a identificação individual de cada trabalhador por meio de um identificador único no dispositivo vestível.

B. Requisitos não funcionais

- **RNF01.** O dispositivo vestível deve ter dimensões compactas e ser confortável para uso prolongado.
- **RNF02.** O sistema deve ser tolerante a falhas de comunicação temporárias, com reconexão automática.
- **RNF03.** O consumo energético dos dispositivos deve ser otimizado para garantir operação contínua por pelo menos um turno de trabalho (mínimo de 8 horas).
- **RNF04.** O tempo de resposta do sistema para detecção e alerta de entrada em zona de risco deve ser inferior a 1 segundo.

C. Benefícios

- Aumenta significativamente a segurança dos trabalhadores.
- Previne acidentes e falhas operacionais.
- Sistema acessível e adaptável a múltiplos cenários.
- Reutilizável em contextos educacionais e industriais.
- Potencial para expansão comercial com ajustes mínimos.

VIII. CONCLUSÃO

O protótipo será desenvolvido como uma prova de conceito funcional, com foco na demonstração em sala de aula da capacidade do sistema de rastrear a posição de um trabalhador e emitir alertas automáticos por vibração quando este adentrar uma zona de risco pré-definida. Essa abordagem reforça não apenas a aplicabilidade do sistema em ambientes industriais críticos, mas também o domínio de conceitos-chave de sistemas operacionais embarcados, comunicação entre processos, integração de sensores e resposta em tempo real — todos objetivos centrais da disciplina de Sistemas Operacionais Embarcados.

IX. CRONOGRAMA E ENTREGÁVEIS

TABLE I. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES SEMANAIS

#	Atividades	Entregas / Marcos
1	Finalização da proposta e levantamento de referências	Planejamento inicial
2	Revisão final e submissão da proposta	PC1 – 10/04
3	Testes iniciais: comunicação tag-Raspberry Pi	Comunicação verificada
4	Leitura de posição UWB e GPIO para vibração	Módulos básicos testados
5	Simulação de zona de risco e lógica de alerta	Deteção de zona validada
6	Registro de eventos e documentação	PC2 – 08/05
7	Início do código em C/C++ e processos paralelos	Estrutura base em C
8	Comunicação entre processos (pipes, filas)	Integração multitarefa
9	Uso de mutex/semaforos e testes de concorrência	Controle de sincronização
10	Revisão geral e testes finais para entrega	PC3 – 05/06
11	Aplicação de recursos de tempo real	Prioridades configuradas
12	Validação da estabilidade e resposta do sistema	Sistema ajustado
13	Finalização do código e relatório	PC4 – 26/06
14	Preparação da apresentação final	Slides e vídeo
15	Ensaio e ajustes finais	Apresentação – 10/07

A documentação estará disponibilizada na íntegra, no https://github.com/jkoliveiras/uwb_monitoring.

REFERENCES

- [1] Ministério do Trabalho e Emprego, “Normas regulamentadoras (nr),” <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora>, 2025, acesso em: abr. 9, 2025.
- [2] I. Alago, “Segurança offshore: como gerenciar riscos em plataformas de petróleo,” <https://www.chemicalrisk.com.br/seguranca-offshore/>, 2024, acesso em: abr. 10, 2025.
- [3] Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), “Painel dinâmico de segurança operacional,” <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-contedo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-sobre-exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/painel-dinamico-de-incidentes-em-exploracao-e-producao>, 2025, acesso em: abr. 9, 2025.
- [4] RFID Journal, “How do rfid and uwb technologies compare?” <https://www.rfidjournal.com/ask-the-experts/how-do-rfid-and-uwb-technologies-compare/>, 2025, acesso em: abr. 10, 2025.
- [5] M. Deputter, “Uwb versus other tracking technologies in 2024,” <https://www.pozyx.io/newsroom/uwb-versus-other-technologies#uwb-versus-lidar>, 2024, acesso em: abr. 10, 2025.
- [6] S. Gotfryd, “Rfid vs. uwb technology - pros, cons, and when to use which technology,” <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/rfid-vs-uwb-technology-pros-cons/>, 2024, acesso em: abr. 10, 2025.
- [7] A. da Amperi, “Áreas classificadas: O que são e quais as normas de segurança,” <https://amperi.com.br/canais/seguranca-e-normas/areas-classificadas/>, 2022, acesso em: abr. 10, 2025.
- [8] Ministério do Trabalho e Emprego, “Nr-20 – segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis,” <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-20-atualizada-2025.pdf>, 2025, portaria MTE nº 60, de 21 de janeiro de 2025. Acesso em: abr. 10, 2025.
- [9] Petrobras, “Relatório de sustentabilidade 2023 – resumo executivo,” https://sustentabilidade.petrobras.com.br/documents/1449993/0/Resumo+Executivo+Portugu%C3%AAs+_+Relat%C3%B3rio+Sustentabilidade+-COM-87388_v8.pdf, 2024, acesso em: abr. 10, 2025.
- [10] Zebra Technologies, “Tecnologias de localização,” <https://www.zebra.com/pt/products/location-technologies.html>, 2025, acesso em: abr. 10, 2025.
- [11] KINEXON, “Ultra-wideband (uwb) tracking: Technologies, sensors, use cases,” <https://kinexon.com/products/uwb-technology>, 2025, acesso em: abr. 10, 2025.

- [12] Tsingol, “Uwb rtls,” <https://www.tsingol.com/en/product/overview/uwb-rtls>, 2025, acesso em: abr. 10, 2025.
- [13] Sewio, “Real-time location system (rtls) on ultra-wideband,” <https://www.sewio.net/real-time-location-system-rtls-on-uwb/>, 2025, acesso em: abr. 10, 2025.
- [14] Tribunal Regional do Trabalho da 9ª Região, “Conceito: Requisitos,” https://www.trt9.jus.br/pds/pdstr9/guidances/concepts/requirements_8006414F.html, 2025, acesso em: abr. 10, 2025.