



JETSON: ROBÔ AUTÔNOMO DE SEGURANÇA PORTUÁRIA: DETECÇÃO DE RISCOS E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS

Ambientes portuários são caracterizados por operações intensas e complexas, que envolvem o manuseio de substâncias inflamáveis, tráfego constante de veículos pesados e circulação de pessoas, além de riscos associados a vazamentos químicos e incêndios. Esses fatores tornam a segurança um desafio contínuo, exigindo soluções inovadoras para prevenção e resposta rápida a emergências.

Neste contexto, a utilização de plataformas robóticas autônomas representa uma alternativa eficaz e tecnológica para ampliar a capacidade de vigilância, reduzir a exposição humana a situações de risco e acelerar a resposta em cenários críticos.

Este projeto propõe o desenvolvimento de um robô terrestre autônomo de segurança portuária, com arquitetura modular, compatível com o ecossistema ROS 2 (Robot Operating System), focado na detecção de ameaças e resposta a incidentes em tempo real. A solução será projetada para ser robusta, adaptável a diferentes terminais e resiliente às condições adversas dos ambientes portuários, com estrutura compatível com padrões ATEX para operação em zonas classificadas.

OBJETIVO:

Desenvolver um robô terrestre autônomo capaz de:

- Monitorar áreas de risco (vazamentos, incêndios, vazamentos químicos).
- Alertar em tempo real sobre anomalias (temperatura, gases, movimentação irregular).
- Auxiliar em emergências (transporte de kits de primeiros socorros, evacuação guiada).
- Operar em zonas de difícil acesso (tanques de combustível, áreas com vazamentos tóxicos).

1. ARQUITETURA

1.1 HARDWARE ESSENCIAL

 **Estrutura e Chassi: Alumínio com revestimento anticorrosivo (padrão ATEX)**



Escolhemos o alumínio com revestimento anticorrosivo padrão ATEX porque, além de ser leve e resistente, ele oferece uma boa performance em ambientes com risco de

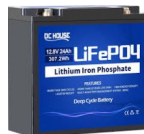
incêndio ou faíscas. O alumínio não é inflamável e possui um ponto de fusão relativamente alto (cerca de 660 °C), o que o torna seguro em cenários de temperatura elevada. O diferencial aqui é o revestimento ATEX, que foi projetado exatamente para atuar em atmosferas explosivas, prevenindo ignição por faíscas ou calor excessivo. Isso torna a estrutura do robô segura para operar próximo a vazamentos inflamáveis, incêndios industriais e outras emergências químicas. Embora o alumínio por si só não seja ideal para fogo direto, o conjunto com o revestimento especializado garante proteção térmica e elétrica suficiente para a missão do robô em zonas perigosas.

Locomoção: Rodas reforçadas com motores elétricos brushless



Para o sistema de locomoção, decidimos utilizar rodas reforçadas acopladas a motores elétricos brushless (sem escovas) por uma combinação de desempenho, confiabilidade e baixa manutenção. As rodas reforçadas garantem tração adequada em pisos irregulares, molhados ou com resíduos industriais, comuns em ambientes portuários. Já os motores brushless oferecem torque elevado, resposta precisa e maior vida útil em comparação aos motores com escova, além de gerarem menos calor e ruído. Isso é crucial para garantir a autonomia e a operação silenciosa do robô durante longos períodos em áreas críticas. Outro ponto chave é que, por não haver faíscas internas, os motores brushless também são mais seguros em ambientes com risco de explosão, alinhando-se aos requisitos ATEX da estrutura do robô.

Bateria: LiFePO₄ selada à prova de explosão



Optamos por utilizar uma bateria LiFePO₄ (fosfato de ferro-lítio) selada e à prova de explosão por ser a solução mais segura e estável para ambientes industriais de alto risco. Diferente de outras químicas de lítio, a LiFePO₄ tem altíssima resistência térmica e química — ela não entra em combustão espontânea, mesmo sob aquecimento, perfuração ou impacto, o que é essencial em áreas com gases inflamáveis ou risco de incêndio. Além disso, essa bateria oferece ciclos de carga muito mais longos (mais de 2000 ciclos), mantendo a autonomia do robô estável por anos. O encapsulamento selado à prova de explosão foi um requisito fundamental para garantir conformidade com normas de segurança (como ATEX), protegendo não apenas o sistema eletrônico, mas também o ambiente ao redor em caso de falha grave.

- SENSORES

Câmera térmica FLIR (Termovisão)



Incluimos uma câmera térmica FLIR no projeto porque ela é indispensável para detectar focos de calor invisíveis ao olho humano — como superaquecimento de máquinas, vazamentos térmicos e até o início de incêndios antes das chamas aparecerem. Ela permite mapear áreas com risco térmico mesmo em ambientes com fumaça densa ou sem iluminação, o que é fundamental em situações de emergência noturna ou em locais fechados. A FLIR também integra bem com inteligência artificial para análise de padrões térmicos.

Sensor de gás MQ-135 (CO₂, amônia, álcool, tolueno, etc.)



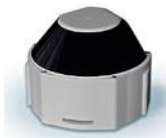
Escolhemos o sensor MQ-135 porque ele é versátil, de baixo custo e excelente para detectar uma gama ampla de gases tóxicos comuns em ambientes industriais e portuários — como CO₂, amônia, benzeno e vapores de solventes. Esse sensor é ideal para identificar vazamentos em áreas com produtos químicos armazenados, e funciona bem como alarme precoce para a evacuação do local.

Sensor PID (Photoionization Detector) para vapores orgânicos voláteis (VOCs)



Para detectar vapores orgânicos voláteis com precisão, optamos por usar um senso que é extremamente sensível e confiável na medição de compostos como solventes, combustíveis e agentes tóxicos industriais. Ele complementa o MQ-135 ao detectar gases em concentrações muito baixas, e é fundamental em áreas onde há risco de vazamento de hidrocarbonetos, combustíveis ou produtos químicos inflamáveis.

LIDAR (Navegação e Detecção de obstáculos)



Implementaremos um sensor LIDAR no robô para permitir uma navegação autônoma precisa em ambientes complexos. Ele mapeia o entorno em 360°, detectando obstáculos, buracos, barreiras e alterações no terreno com alta precisão. Isso permite que o robô desvie de perigos em tempo real, mesmo em locais com visibilidade zero. Além disso, o LIDAR se integra perfeitamente ao ROS 2, facilitando o uso de algoritmos SLAM e path planning.

e-CAM27 p/Jetson Orin Câmera RGB + IR (Visão Colorida e Infravermelho)



Adotaremos uma câmera RGB combinada com sensor infravermelho (IR) para que o robô possa operar tanto em condições normais de iluminação quanto em ambientes escuros ou com fumaça. A imagem RGB é essencial para identificação visual de placas de risco, pessoas e objetos, enquanto o IR ajuda na navegação noturna ou em ambientes cobertos. Essa combinação é ideal para visão computacional com *MediaPipe*, *YOLO* ou *OCR* para reconhecimento em tempo real.

Computador Embarcado: NVIDIA Jetson Orin Nano



Escolhemos a *NVIDIA Jetson Orin Nano* como unidade de processamento central do robô porque ela oferece um desempenho excepcional em IA embarcada, com consumo energético otimizado — exatamente o que o projeto exige. A Orin Nano possui GPU Ampere com até 40 TOPS de desempenho, o que permite rodar modelos de visão computacional em tempo real, como detecção de pessoas (*MediaPipe*), reconhecimento de placas de risco (*OCR*), análise térmica com câmera FLIR e até redes neurais para previsão de incêndios (*TensorFlow Lite*). Além disso, sua compatibilidade com ROS 2, Linux e bibliotecas como *OpenCV* e *CUDA* facilita toda a integração com os sensores e o sistema de navegação autônoma. Por ser compacta, leve e robusta, ela se encaixa perfeitamente no chassi e suporta as condições hostis do ambiente portuário.

- SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Módulo LoRa + 5G



Implementaremos um sistema híbrido de comunicação usando LoRa e 5G porque cada tecnologia tem seu papel estratégico no funcionamento do robô. O módulo LoRa oferece comunicação de longo alcance com baixo consumo energético — ideal para manter o robô conectado em áreas remotas ou com cobertura limitada de rede celular. Já o 5G entra como canal de alta velocidade para transmitir vídeo em tempo real, dados de sensores e comandos de controle remoto com latência mínima. Essa redundância garante que o robô continue se comunicando mesmo em falhas parciais da infraestrutura de rede, o que é fundamental em situações de emergência.

Rádio VHF/UHF para Emergência



Adicionaremos um módulo de rádio VHF/UHF para comunicação de emergência direta com a brigada de incêndio ou a CIPA do porto, sem depender da internet. Essa camada de comunicação é crucial quando há falhas na rede, interferência eletromagnética ou em zonas críticas onde apenas rádios funcionam. Ele pode operar com mensagens pré-gravadas ou em modo push-to-talk, permitindo comunicação de voz direta com operadores humanos em campo.

SINALIZAÇÃO:

Luzes LED de alta intensidade (vermelho, azul)



Incorporaremos luzes LED de alta intensidade nas cores vermelha e azul para sinalização visual durante emergências e patrulhamento. Elas são essenciais para alertar operadores humanos e evacuar áreas com segurança. O padrão de cores segue normas internacionais de sinalização (azul para emergência, vermelho para perigo), e os LEDs são visíveis mesmo sob neblina, fumaça ou ambientes com baixa luminosidade.

Sirenes de evacuação



Instalaremos sirenes de evacuação no robô para emitir alertas sonoros em caso de detecção de incêndios, vazamentos ou movimentação suspeita. A intensidade do som pode ultrapassar 100 dB, sendo eficaz mesmo em áreas com alto ruído industrial. A

sirene funciona em sincronia com o sistema de IA para responder automaticamente a eventos críticos, chamando atenção mesmo à distância.

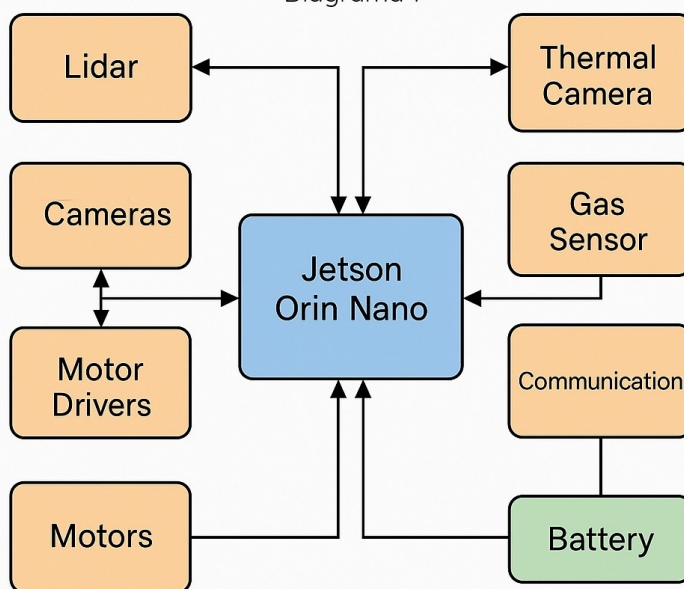
Antena: Alta frequência para comunicação de longo alcance



Implementaremos uma antena de alta frequência com ganho direcional para garantir comunicação estável de longo alcance, tanto para telemetria quanto para comandos críticos. Essa antena suporta as bandas utilizadas pelo *LoRa* e rádio *VHF/UHF*, e será posicionada estrategicamente no topo do robô para maximizar o alcance e minimizar interferência. É especialmente útil quando o robô está operando em zonas bloqueadas por contêineres, estruturas metálicas ou tanques de combustível.

ITBot Robô Autônomo de Segurança Portuária: Detecção de Riscos e Resposta a Emergências

Diagrama 1



1.2 CAMADAS INTERNAS E COMPARTIMENTOS

- Compartimento 1 (Base): Motores + Transmissão

Na base do robô, será concentrado os motores elétricos brushless e o sistema de transmissão porque é a região mais próxima das rodas, o que reduz perdas mecânicas e melhora a estabilidade. Esse compartimento possui reforço estrutural adicional, suportando o peso do robô e absorvendo impactos durante a

locomoção. A distribuição baixa do peso também contribui para um centro de gravidade estável, ideal para terrenos irregulares

- Compartimento 2 (Centro): Computador embarcado, baterias, fiação organizada

O compartimento central funcionará como o 'cérebro e coração' do robô. Nele, instalaremos o computador embarcado (Jetson Orin Nano), as baterias seladas LiFePO_4 e toda a fiação organizada em canaletas ou trilhos. Essa posição central equilibra o peso e protege os componentes mais sensíveis contra calor e vibração da base. Além disso, facilita a manutenção e garante isolamento térmico adequado para evitar sobreaquecimento dos módulos de processamento.

- Compartimento 3 (Superior): Sensores, sirenes e antena

A parte superior abrigará os sensores (como a *câmera térmica*, *LIDAR*, *câmeras RGB/IR*), as sirenes de evacuação e a antena de alta frequência. Essa posição elevada oferece melhor campo de visão para os sensores e maximiza o alcance da comunicação sem fio. Também facilita a emissão de alertas visuais e sonoros em todas as direções, garantindo que o robô seja percebido mesmo em áreas ruidosas ou com baixa visibilidade.

2. FUNCIONALIDADES PRINCIPAIS

2.1 DETECÇÃO DE RISCOS

- Vazamentos Químicos:

- MQ-135 (CO_2 e gases)
- PID (compostos orgânicos voláteis)

- Incêndios:

- FLIR para detecção térmica
- YOLOv8 treinado para detecção de fumaça

- Movimentações Irregulares:

- LIDAR mapeando rotações anômalas ou objetos fora do padrão

2.2 RESPOSTA A EMERGÊNCIAS

- Navegação autônoma baseada em *ROS Navigation Stack*

- Transporte de kits médicos/extintores

- Comunicação com CIPA: vídeo + alertas em tempo real

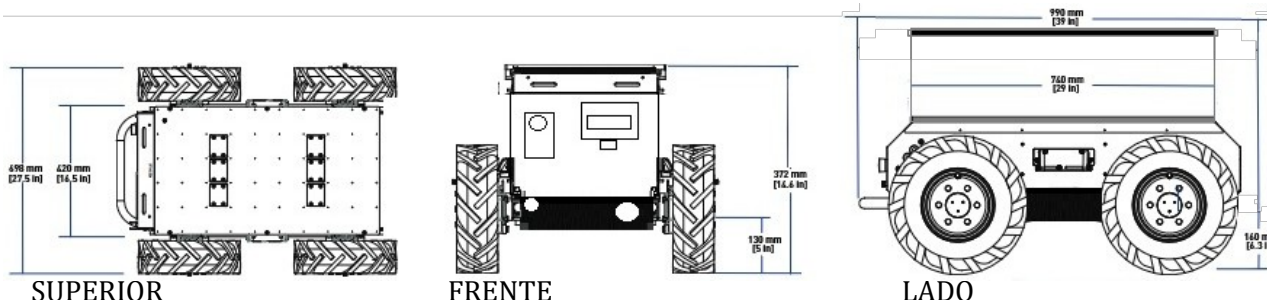
3. MODELO CAD E MONTAGEM

- Visualizável no software *FreeCAD* em 3D

- Organização por camadas/grupos:

- Chassi
- Motores e Rodas
- Compartimentos Internos
- Bateria

- Sensores
- Cabeamento
- Antena e Sinalização



4. Descrição Detalhada dos Softwares Embarcados

A seguir estão descritos os principais softwares embarcados no robô, todos selecionados com base em compatibilidade com o sistema embarcado (NVIDIA Jetson Orin Nano), eficiência em tempo real e suporte à integração com ROS 2:

Software / Biblioteca	Função / Dispositivo	Descrição / Finalidade
JetPack SDK (Ubuntu 20.04) https://developer.nvidia.com/embedded/jetpack	Sistema Operacional Jetson	Base do Jetson Orin Nano, com drivers CUDA, TensorRT e suporte ARM64
ROS 2 (Humble ou Foxy) https://ros.org/	Middleware Robótico	Comunicação entre sensores, atuadores e módulos de controle
Navigation 2 (Nav2) https://nav2.org	Navegação Autônoma	Planejamento de rotas, controle de movimento, mapeamento e obstáculos
flir_camera_driver https://github.com/ros-drivers/flir_camera_driver	Câmera Térmica FLIR	Captura e processamento de imagens térmicas em ROS
sensor_msgs (ROS) https://github.com/ros/common_msgs/tree/noetic/sensor_msgs	Sensor de Gás MQ-135	Publicação de leituras de sensores analógicos em ROS
Alphasense (fabricante) https://www.alphasense.com/	Sensor PID (VOC)	Deteção precisa de vapores orgânicos com comunicação via UART/I2C
slam_toolbox https://github.com/SteveMacenski/slam_toolbox	LIDAR (SLAM e Navegação)	Mapeamento, localização e navegação autônoma em tempo real

Cartographer

<https://google-cartographer.readthedocs.io/en/latest/test/>

OpenCV

<https://opencv.org/>

MediaPipe

<https://mediapipe.dev/>

Câmera RGB + IR

Visão computacional, detecção de pessoas, OCR e rastreamento

TensorFlow Lite

<https://www.tensorflow.org/lite>

ONNX Runtime

<https://onnxruntime.ai/>

IA e Classificação

Execução eficiente de modelos de IA embarcados

RAK LoRa Drivers

<https://docs.rakwireless.com/>

Comunicação LoRa

Transmissão de dados de longa distância com baixo consumo

ModemManager (5G)

<https://www.freedesktop.org/wiki/Software/ModemManager/>

Comunicação 5G (USB Modem)

Gerenciamento de conexões móveis via modem USB em Linux

Baofeng Tech (referência)

<https://baofengtech.com/>

Rádio VHF/UHF de Emergência

Comunicação de voz via rádio em caso de falha total de rede

ROSBridge

https://github.com/RobotWebTools/rosbridge_suite

Node-RED

<https://nodered.org/>

Interface Web e Controle Remoto

Visualização e controle do robô via navegador, usando WebSocket

sound_play (ROS)

https://wiki.ros.org/sound_play

Sirenes de Evacuação / Alertas Sonoros

Tocar sons ou mensagens gravadas via comandos ROS

nmea_navsat_driver

https://wiki.ros.org/nmea_navsat_driver

GPS + Localização Global

Leitura de dados NMEA de GPS e integração com ROS Navigation

Todos os softwares foram escolhidos levando em consideração: performance embarcada, suporte à comunidade open source, documentação ativa e integração comprovada com a arquitetura ROS 2.

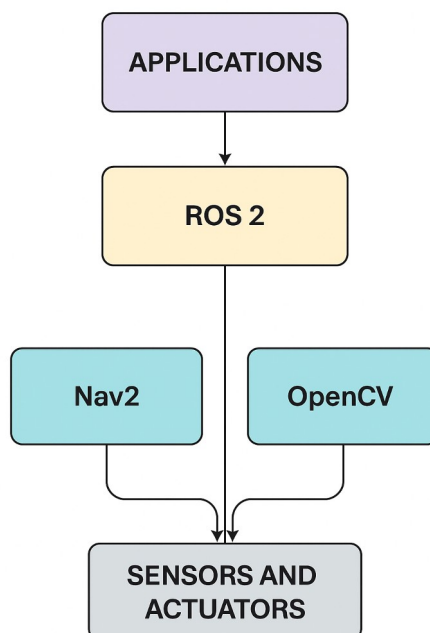


diagrama em camadas que mostra como os softwares se comunicam

5. TABELA DE CUSTOS ESTIMADOS (2025)

Item	Especificação	Custos Aproximados (R\$)
Estrutura e Chassi ATEX	Alumínio com tratamento anticorrosivo	4.500,00
Motores Brushless (x4)	24V com redutor	2.400,00
Rodas reforçadas (x4)	Borracha industrial	800,00
Bateria LiFePO4	48V / 50Ah	3.200,00
Jetson Orin Nano	Computador embarcado	2.800,00
FLIR Lepton 3.5	Câmera térmica	2.500,00
LIDAR RPLidar A3	Sensor LIDAR 2D	1.900,00
Sensor de Gás MQ-135 + PID	Múltiplos gases	450,00
E-ca, Câmeras RGB/IR p/JETSON orin	Alta definição	1.188,00
Sistema de iluminação/sirene	LED + buzina	300,00

Antena LoRa + 5G	Comunicação	750,00
Placa auxiliar + fonte + cabos	Diversos	700,00
Estrutura de suporte e compartimentos	Aço/alumínio	1.000,00
Diversos (conectores, fixadores, vedação)	Montagem	800,00
Total estimado: R\$ 23.288,00		

6. CONCLUSÃO

A proposta deste projeto visa a construção de um modelo de robô autônomo de segurança portuária. Buscamos integrar as melhores práticas de design, robustez estrutural e compatibilidade com o ecossistema ROS 2, enquanto adapta os componentes a uma realidade economicamente mais acessível e modular.

O robô aqui proposto é uma evolução funcional orientada a ambientes portuários, com foco em monitoramento de riscos, resposta rápida e operação autônoma em áreas de difícil acesso. A escolha de sensores integrados, processadores embarcados como o Jetson Orin Nano e bibliotecas de inteligência artificial garantem que o sistema atenda a requisitos de missão reais e que possa ser continuamente ampliado ou customizado.