

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

MONITORAMENTO ROBOTIZADO DE SUBESTAÇÕES DE EXTRA ALTA TENSÃO

**TUI ALEXANDRE ONO BARANIUK(1);VICTOR SALVINO BORGES(1);GABRIEL DOS SANTOS
HAVEROTH(1);JOSÉ FRANCISCO BIANCHI FILHO(1);OTAVIO MITSURU SHIONO(1);FABIO YUKIO
NARA(1);LUCAS DA SILVA NOLASCO(1);FRANCISCO(3)
LACTEC(1);MATRINHÃ (3)**

RESUMO

Inspecções presenciais de equipamentos fazem parte dos procedimentos em subestações, para assegurar o funcionamento de equipamentos e estabilidade do sistema. Este trabalho apresenta um robô terrestre móvel, atualmente em desenvolvimento, cujo objetivo principal é realizar inspeções e monitorar subestações de extra alta tensão, tanto autonomamente quanto teleoperadamente. O veículo é capaz de operar em terreno irregular, realizar operações autônomas rotineiras ou sob demanda, capturando informações em pontos de interesse. O projeto visa melhorar cada vez mais a segurança dos processos de operação, monitoramento e manutenção de sistemas elétricos de potência, minimizando o risco de erro por fator humano e minimizando a exposição a riscos.

PALAVRAS-CHAVE

Robótica, Segurança, Inspeção, Subestação

1.0 INTRODUÇÃO

Buscando melhorar cada vez mais a segurança dos processos de operação, monitoramento e manutenção de sistemas elétricos de potência, minimizando o risco de erro por fator humano e minimizando a exposição a riscos, as soluções envolvendo sistemas robóticos autônomos ou teleoperados (operados remotamente) têm sido cada vez mais buscadas e utilizadas em subestações (SE) [1]. Este trabalho apresenta uma visão geral de um robô terrestre móvel em atual fase de desenvolvimento, que tem como objetivo realizar inspeções e monitorar subestações de extra alta tensão, tanto autonomamente quanto teleoperadamente.

Embora muitas subestações não precisem de operadores locais, contando com um grau de automação cada vez maior, inspeções rotineiras são necessárias para assegurar o funcionamento dos equipamentos e a estabilidade do sistema, de modo a identificar situações anormais e necessidades de manutenção. Atualmente esta atividade é feita de maneira manual por um trabalhador humano, seguindo os procedimentos para inspeção de rotina em SEs das concessionárias. A ausência de defeitos presentes e eminentes nos equipamentos de uma SE garantem uma maior vida útil, reduzindo gastos e contribuindo para a estabilidade e segurança operativa de SEP.

A atividade de inspeção de SEs é uma tarefa de alto risco para o eletricitista, necessitando um operador altamente treinado tanto em questões de segurança de operação quanto na inspeção dos diversos equipamentos e parâmetros da subestação. Adicionalmente, as SEs se encontram muitas vezes em lugares remotos e de difícil acesso, o que aumenta ainda mais o custo da realização das inspeções.

A utilização de um robô para realizar a tarefa de inspeção é atraente por permitir a realização da inspeção remotamente, sem necessitar o deslocamento do eletricitista até a SE, além de reduzir a exposição da população ocupacional do setor aos riscos inerentes do trabalho com sistemas elétricos de potência.

A utilização de um robô para realizar a tarefa de inspeção em subestações já é algo explorado mundialmente ([2] e [3]), mas ainda faltam opções adaptadas às subestações brasileiras. O robô em desenvolvimento é capaz de operar em terreno irregular, autônomo e com possibilidade de teleoperação, realizando o monitoramento do ambiente da SE e de diversos equipamentos com imagens térmicas e visível, em 360°, além da medição de umidade, temperatura ambiente e ruído sonoro. Os dados obtidos pelo robô são transmitidos a um operador remoto, responsável por realizar a análise das imagens e identificação de eventuais anormalidades nos equipamentos da SE.

A metodologia de projeto integrado de produtos empregada para o presente projeto foi proposta por [4], na qual, após levantadas todas as características e especificações do produto, são geradas soluções que atendam a estes requisitos, avançando no nível de detalhamento de projeto a cada etapa.

O sistema de interface com usuário em desenvolvimento suporta a criação e configuração das rotas que o robô irá executar na subestação, selecionando os pontos pelos quais o veículo deve passar, assim como os locais de interesse onde deve realizar um monitoramento e inspeção detalhada. Ao final de cada ronda os dados obtidos pelo robô são enviados ao servidor, armazenados em um banco de dados e disponibilizados para análise.

Este artigo apresenta uma descrição geral sobre as tecnologias e abordagens utilizadas no desenvolvimento do protótipo robotizado, iniciando pelo ambiente de inspeção, a plataforma robótica e sistema de locomoção, em seguida a arquitetura de hardware e software, inteligência do robô, módulo de inspeção e monitoramento, e por fim a conclusão.

2.0 AMBIENTE DE SUBESTAÇÃO

A subestação utilizada como referência para o desenvolvimento do protótipo robotizado foram subestações de extra alta tensão (500kV). Em geral este tipo de subestação não conta com estrada asfaltada no seu interior, sendo todo o entorno dos equipamentos de brita, conforme mostrado na Figura 1.

No geral, o desnível entre a brita e as canaletas utilizadas para passagem de cabos é de cerca de 10cm, devido à quantidade de brita presente na subestação, que por um lado diminui a altura da canaleta, mas ao mesmo tempo dificulta caminhar sobre a brita e cria diversas irregularidades no solo.



Figura 1 - Subestação de Cláudia, Mato Grosso.

Sobre os diversos equipamentos a serem monitorados, estes possuem indicadores analógicos, sendo que a maior parte deles fica situada a no máximo 3 metros de altura. A Figura 2 mostra alguns exemplos.

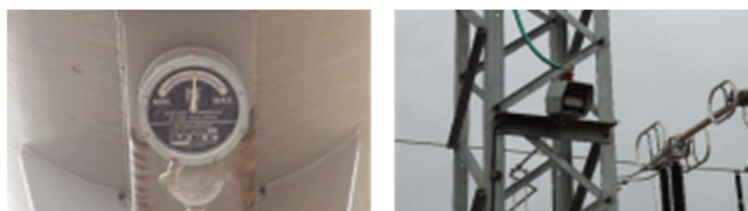


Figura 2 - Mostradores de diferentes equipamentos da subestação de Cláudia.

3.0 SISTEMA DE LOCOMOÇÃO

Para o projeto do robô, foi considerado um sistema de locomoção por rodas, por apresentar maior eficiência energética, simplicidade de movimento e maiores velocidades de deslocamento. O direcionamento deste sistema de locomoção é realizado através do acionamento diferencial das rodas motrizes, reduzindo-se assim o raio de giração e não necessitando de um motor adicional para fazer o estereçamento das rodas.

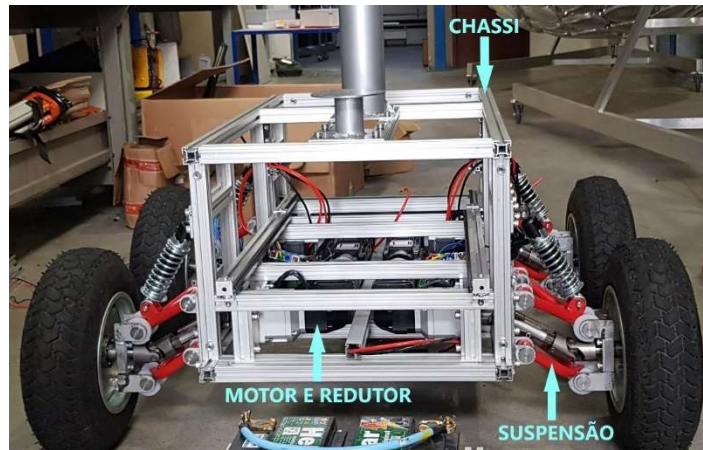


Figura 3 - Componentes do sistema de locomoção.

Visando à redução de peso do robô e garantindo uma boa resistência mecânica do chassi, foram utilizados perfis quadrados de metal na sua composição. O chassi foi projetado de forma a facilitar a integração de outros componentes do robô, como sensores, bateria e dispositivos de hardware.

Para a tração das rodas foram utilizados um conjunto de 4 rodas com suspensão, cada uma acionada por um motor e redutor (Figura 3), permitindo assim o direcionamento do robô por acionamento diferencial e melhorando o deslocamento em terrenos com pedra brita, como é o caso em subestações brasileiras.

A suspensão tem por função suportar o peso do robô, absorver impactos e garantir que as rodas se mantenham sempre em contato com o chão, quando este passar em lugares com superfícies irregulares ou por obstáculos. Neste projeto, foi utilizada uma suspensão independente do tipo duplo A, que possui a vantagem de manter-se estável para deslocamentos em alta velocidade. A Figura 4 apresenta o robô em operação durante testes em campo em uma subestação de 500kV.



Figura 4 - Testes em campo na Subestação de Bateias, Paraná.

4.0 ARQUITETURA DE HARDWARE

A arquitetura de hardware do sistema aqui descrita se divide em duas frentes, o sistema elétrico de alimentação e os componentes elétricos/eletrônicos que compõe o sistema. A Figura 5 ilustra os diversos equipamentos embarcados no robô.

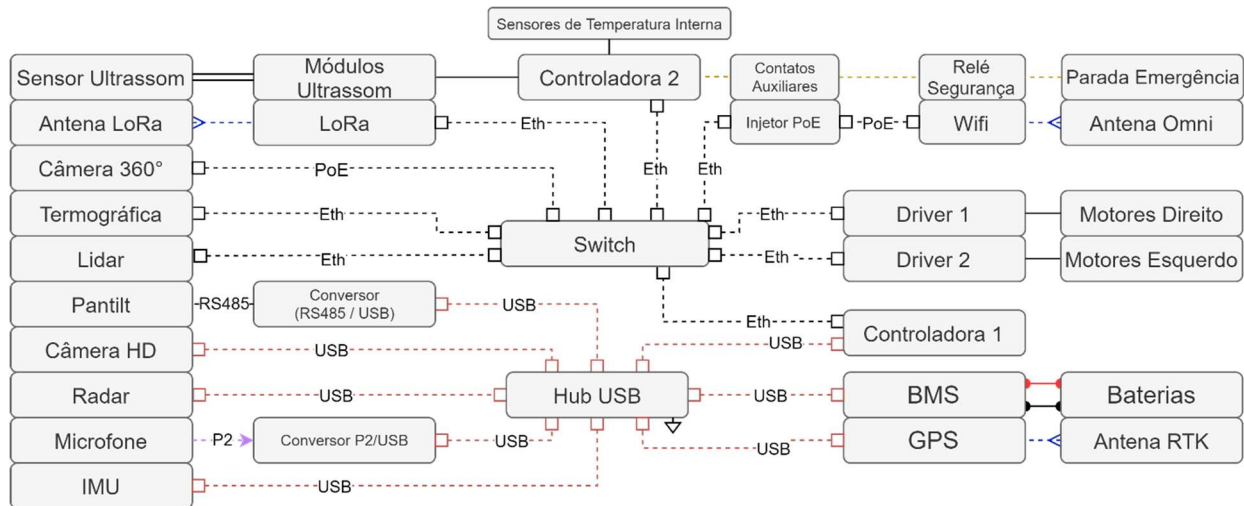


Figura 5 – Diagrama de equipamentos embarcados.

O robô móvel em desenvolvimento possui diferentes componentes de hardware que foram integrados à plataforma de modo a possibilitar a execução de tarefas previstas neste projeto. É possível agrupar os elementos de hardware nos seguintes subgrupos:

- **Controle:** Equipamentos de *hardware* responsáveis pelo controle e inteligência do robô. É composto por uma controladora principal (computador embarcado Jetson Xavier AGX) e por um microcontrolador industrial auxiliar. O controlador principal é responsável pela inteligência do robô pela leitura dos principais sensores, já o auxiliar complementa o acionamento e leitura de entradas e saídas a partir de comandos realizados pelo controlador principal.
- **Comunicação:** Responsável pela comunicação entre elementos internos e externos ao robô. É composto por um switch industrial (comunicação interna), encarregado de centralizar a comunicação dos sistemas que possuem interface *ethernet* e os que utilizam rádios para comunicação com o servidor de monitoramento. A comunicação entre o robô e o servidor de inspeção é composta por um canal principal, contendo um sistema omnidirecional comercial, com disponibilidade de alta taxa de transmissão e de longo alcance (estação base e cliente). Dentre outras tarefas, este será responsável por transmitir os comandos relacionados a execução de rondas de inspeção e pela visualização do streaming de câmeras por meio de uma interface com o operador. O outro elemento da arquitetura de comunicação é o canal crítico, o qual é um canal redundante que tem por objetivo complementar o canal principal. O canal crítico será aplicado em possíveis situações de indisponibilidade do sistema de comunicação principal, sendo utilizada a tecnologia LoRa (*Long Range*) que possui taxas de transmissão relativamente baixas, porém com alcance na ordem de quilômetros. Este canal é responsável por enviar mensagens de segurança e monitorar variáveis críticas, não necessitando-se de altas taxas de transmissão para a realização desta função.
- **Mobilidade:** Este agrupamento é responsável pela mobilidade do robô, sendo composto pelo conjunto de drivers e motores CC, responsáveis pela locomoção do robô e pelo sistema de movimentação das câmeras (*pan-tilt*).
- **Inspeção:** São os elementos de *hardware* responsáveis pela inspeção da SE. O robô possui uma câmera visível de alta resolução (20M pixels) com foco e zoom motorizados, uma câmera térmica de resolução 640x480, sensibilidade de 0,04 C° e uma câmera 360°. Além da inspeção por câmeras, o robô possui um microfone de uso externo para o monitoramento do ruído audível da SE.
- **Sensoriamento:** São os elementos responsáveis pela tarefa da percepção do robô. Tais elementos se comunicam com o controlador principal e com o auxiliar por meio do switch industrial e por interfaces de comunicação diretas aos sistemas. Os elementos de sensoriamento utilizados são: LiDAR de 16 feixes, radar FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*), sensor inercial (acelerômetro, giroscópio e manômetro), GPS RTK (*Real-time Kinematic*), ultrassom, fins de curso e temperatura interna.
- **Alimentação:** O sistema elétrico que alimenta o robô é composto por um banco de bateria de íons de lítio e conversores de tensão. As baterias foram dimensionadas para que o robô tenha uma autonomia de pelo menos 16 km. Com medições realizadas em testes de deslocamento do robô em pisos de pedra bruta e asfalto, o consumo médio do sistema elétrico do robô foi de aproximadamente 285Wh/km. O banco de baterias possui tensão nominal de 48V e a capacidade nominal é de 128Ah ou 6144Wh, porém é planejado a utilização de no máximo 70% da capacidade nominal. Logo, a capacidade útil do sistema de armazenamento de energia do robô é de 4300Wh. O trem de força do robô é composto por quatro

conjuntos de motor CC sem escova, com cada conjunto possuindo potência nominal de 750W, torque de 80Nm e velocidade máxima de 5km/h após o redutor. Para a alimentação dos sistemas embarcados o robô possui conversores CC-CC fornecendo alimentação em 24V, 12V e 5V, além da tensão primária de 48V.

Além da integração dos elementos de eletrônicos e elétricos presentes no robô, também foi desenvolvida uma estação base na qual o robô aguarda e recarrega as baterias quando não está executando tarefas. Na estação base está localizado o sistema de carregamento do robô, as antenas responsáveis pela comunicação com o sistema supervisor, uma estação que mede variáveis externas na localidade da SE (umidade e temperaturas) e a estação base do sistema GPS RTK, que é responsável por enviar correções ao GPS presente no robô.

Para proteger os diversos equipamentos elétricos e eletrônicos, a temperatura interna do robô é constantemente monitorada e também foram feitos diversos testes laboratoriais para o correto dimensionamento de uma blindagem que garanta que o campo eletromagnético presente em SEs de 500kV não interfira no correto funcionamento dos componentes do robô [5].

5.0 INTELIGÊNCIA E CONTROLE

Na sequência serão descritos a arquitetura de software, o ambiente de simulação utilizado nos testes de inteligência e controle do robô, a estratégia de comportamentos empregada, uma breve descrição sobre o sistema de navegação baseado em pontos de referência e por fim é apresentada a inteligência para estacionar e recarregar.

5.1 ARQUITETURA DE SOFTWARE

O robô móvel é responsável por realizar o monitoramento termográfico, visível e sonoro dos diversos equipamentos presentes no pátio da subestação. Para isso, é necessário que o robô seja capaz de se deslocar no pátio da subestação de maneira autônoma e segura. Diferentes subsistemas são necessários para que o robô atinja esses objetivos, sendo apresentados na Figura 6, e descritos na sequência.

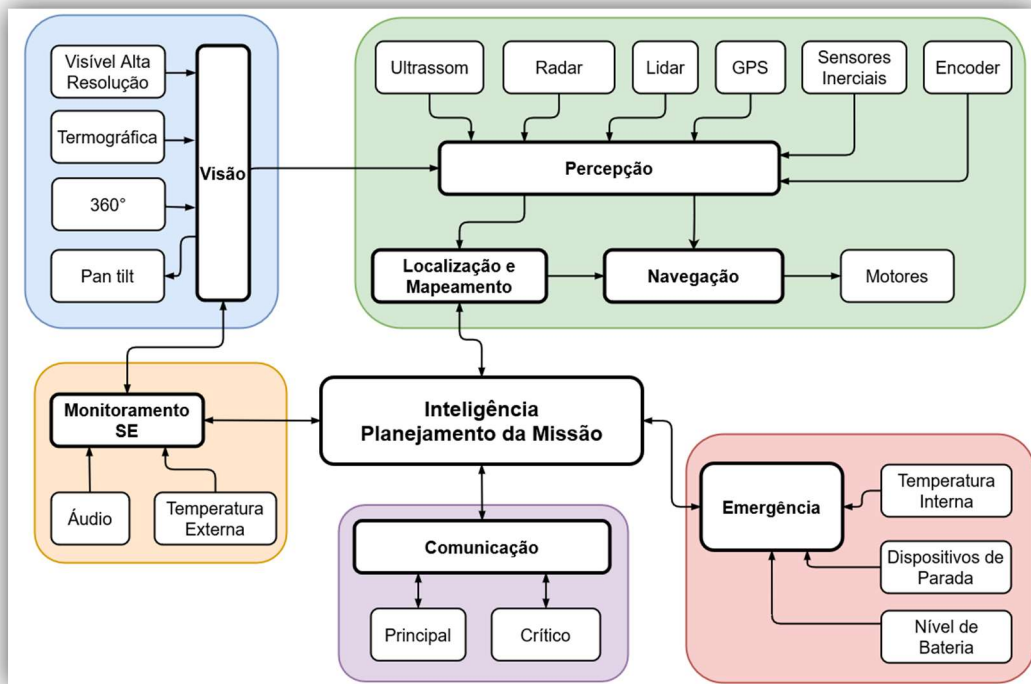


Figura 6 - Diagrama de blocos da arquitetura de software do robô.

- **Inteligência e Planejamento da Missão:** Módulo responsável pela coordenação da missão, comportamentos do robô e planejamento em alto nível. Possui interface direta com os outros subsistemas, dentre eles: emergência, energia, comunicação, refrigeração, monitoramento da SE e outros subsistemas responsáveis pelo deslocamento do robô dentro da SE.

- **Percepção:** Responsável pelo interfaceamento com os diversos sensores internos e externos do robô, filtragem de dados e fusão. Para a fusão é utilizado o filtro Kalman Extendido, e dentre os sensores externos utilizados pela navegação e localização podem ser citados um lidar 3D, radar, ultrassons, GPS e sensor inercial (IMU).
- **Mapeamento:** Módulo responsável por criar um mapa de ocupação 2D, mapa de referência utilizado como base para a localização do robô. Atualmente utilizamos o algoritmo *gmapping* [6], alimentado pela leitura do lidar e odometria oriunda da fusão dos sensores.
- **Localização:** Módulo responsável por localizar o robô no mapa de referência e no ambiente que está inserido. A abordagem utilizada pelo projeto é primeiramente realizar a fusão dos sensores, GPS, IMU e odometria obtida pelo cálculo dos pontos relativos do Lidar (ICP [7]). A odometria obtida pela fusão é então utilizada como entrada do módulo de localização *amcl* [8], que aplica um algoritmo probabilístico para estimar a posição do robô no mapa.
- **Navegação:** A precisão de navegação é dada por quão bem um robô autônomo é capaz de se deslocar de um ponto a outro. Para que a navegação seja bem-sucedida, ela depende do correto funcionamento do módulo de percepção, localização, desvio de obstáculos, inteligência e acionamento dos motores. Foram testadas diversas abordagens, mas a utilizada atualmente é um conjunto de pacotes de navegação ROS customizados para o uso com o protótipo do projeto, utilizando o planejador de rotas TEB [9] e um sistema de camadas de mapas custo para detecção de obstáculos [10], utilizando a leitura dos diversos sensores presentes no robô.
- **Visão:** Módulo responsável por realizar o interfaceamento com as câmeras (visível HD, térmica e 360°) e *pan-tilt* instalados no robô.
- **Monitoramento da SE:** Módulo responsável por realizar a coleta das imagens das câmeras, áudio externo e temperatura e preparar os dados para envio para o servidor de controle.
- **Comunicação:** Responsável por transmitir todas as informações coletadas pelo robô móvel ao servidor remoto e também por receber atualizações de missão e comandos do servidor. Buscando maior robustez, o sistema de comunicação do robô é composto por dois setores, um principal para comunicação geral de alta banda e um segundo para redundância de envio e recebimento de informações críticas.
- **Emergência:** Este setor é responsável pela leitura e monitoramento dos sensores internos, módulos e dispositivos do robô, incluindo temperatura interna, dispositivos de parada (local e remoto), nível de bateria e correta execução do software de inteligência.

5.2 AMBIENTE SIMULADO

Para a prototipagem e os testes dos componentes de software do robô, foi utilizada a plataforma Gazebo para a simulação do robô e de um ambiente para a execução dos testes. Essa plataforma foi escolhida por apresentar a possibilidade de integração com o *framework* utilizado para o desenvolvimento do software do robô e por ela ser capaz de simular componentes, como sensores e atuadores, de modo a replicar funcionalidades do robô físico dentro do ambiente de simulação. Entre os sensores adicionados estão: uma câmera visível, sensores ultrassônicos, sistema de GPS e IMU. Já no grupo dos atuadores estão os motores para controle das rodas e uma *pan-tilt*, responsável pela movimentação da câmera visível.

5.3 INTELIGÊNCIA DE COMPORTAMENTOS

O sistema de inteligência do robô é organizado utilizando uma árvore de comportamentos [11]. A escolha por essa forma de organização foi feita por conta de duas características apresentadas pelas árvores de comportamento: modularidade e reatividade. A modularidade permite que o software seja organizado em módulos menores, também conhecidos como nós da árvore, que podem ser desenvolvidos e testados separadamente, permitindo uma integração mais simples entre os diversos componentes de software existentes no robô. Além disso, estes nós podem ser reutilizados de acordo com a necessidade. A reatividade permite que o sistema reaja de forma eficiente, independentemente da tarefa que esteja sendo executada. Isso é útil no desenvolvimento de um sistema complexo, pois permite que o controle e tratamento de cenários de emergência seja centralizado em um módulo especializado, sendo executado independentemente da tarefa que esteja sendo realizada pelo robô. Por fim, além de facilitar a verificação das falhas, a abordagem adotada facilita o desenvolvimento dos módulos responsáveis por executar as demais tarefas do robô, uma vez que eles podem ser programados e testados independentemente das demais atividades.

5.4 SISTEMA DE NAVEGAÇÃO VIA PONTOS DE REFERÊNCIA

Um dos módulos de software acionados pela árvore de comportamentos é o pacote de navegação. Esse pacote é responsável por executar a movimentação do robô no ambiente a partir de um mapa previamente gerado e um objetivo dentro desse mesmo mapa. Dentro do sistema implementado para o robô, essa navegação é utilizada na execução de rotas durante a inspeção teleoperada e autônoma na subestação. Durante a execução da tarefa, a

rota do robô é dividida em múltiplos objetivos dentro do mapa, chamados de pontos de referência, que são visitados em uma sequência definida previamente pelo operador remoto do sistema. Na Figura 7 é apresentada um exemplo de rota, na qual os pontos em verde indicam objetivos de inspeção, onde o robô irá registrar as informações que serão enviadas posteriormente ao servidor, e os pontos em azul indicam objetivos comuns que só são visitados.

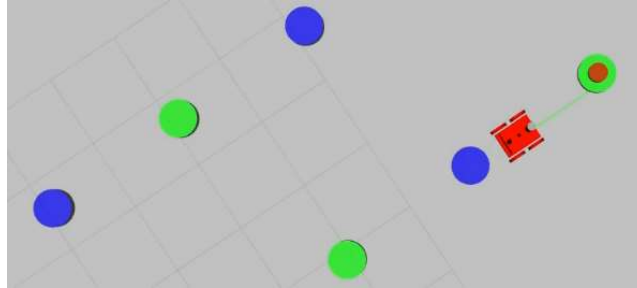


Figura 7 - Execução de uma rota de inspeção autônoma a partir de pontos de referência.

5.5 INTELIGÊNCIA DE ESTACIONAMENTO E RECARGA

O pacote de inteligência de estacionamento e recarga foi criado para possibilitar que o robô entre e saia da estação de carregamento de maneira segura. Para que o robô se oriente nessa região, são instaladas na estação três *tags* de realidade aumentada, as quais são detectadas pela câmera visível e a biblioteca de realidade aumentada [ALVAR](#). A partir da posição das *tags* de referência, o robô se localiza com relação à estação de carregamento, o que possibilita a sua saída e entrada da estação de uma forma controlada e robusta. Para que o robô tenha o conhecimento da sua posição durante todo esse processo, a câmera visível deve ser capaz de detectar as referências na estação de carregamento. Isso é obtido controlando a orientação da câmera visível por meio da *pan-tilt* onde essa câmera está instalada, sempre alinhando a câmera com a última posição onde as *tags* foram encontradas.

Com relação à movimentação do robô, todo o processo de estacionamento autônomo pode ser resumido em duas etapas:

- **Aproximação e alinhamento:** O robô se aproxima da entrada da estação de carregamento, onde essa posição de entrada é definida a partir das *tags* de referência. Na Figura 8, os retângulos à esquerda representam as *tags* enquanto os círculos verde e azul representam, respectivamente, o ponto de entrada na estação de recarga e o ponto de carregamento.
- **Aproximação final:** Por fim, na última etapa, o robô se aproximará do ponto de recarga em linha reta até que o carregador seja conectado ou o robô alcance uma distância limite com relação às *tags* de referência, definida por segurança. Nesse ponto, a movimentação é realizada somente em linha reta para evitar que o robô danifique o carregador acidentalmente. No entanto, caso o robô alcance essa distância e o carregador não seja conectado por algum problema de alinhamento, o robô sai da estação e volta a repetir o processo. Para o manobrar para fora da estação de recarga, os passos realizados pelo robô são semelhantes, porém executados em uma ordem inversa.



Figura 8 - Orientação do robô a partir das *tags* de referência durante o estacionamento autônomo.

6.0 INSPEÇÃO E MONITORAMENTO

Durante a operação do robô, este realiza a inspeção de pontos pré-definidos por meio das câmeras visível de alta definição (Figura 9) e termográfica (Figura 10). É realizada a construção de imagens panorâmicas que são montadas a partir da captura de imagens em diferentes ângulos por meio do sistema de movimentação das câmeras (*pan-tilt*). Adicionalmente a inspeção visível também são gravados áudios que capturaram o ruído audível da SE nos pontos pré-definidos. *Streaming* das câmeras e do microfone também são transmitidos para o sistema de inspeção para que o operador possa realizar a análise do estado atual na localidade do robô.

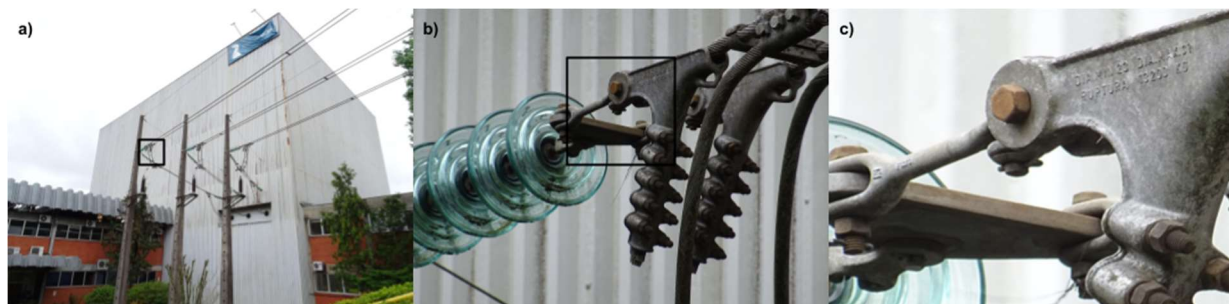


Figura 9 - Imagem câmera visível instalada no robô. a) Imagem sem zoom. b) Imagem com zoom óptico. c) Imagem com zoom óptico e zoom digital.

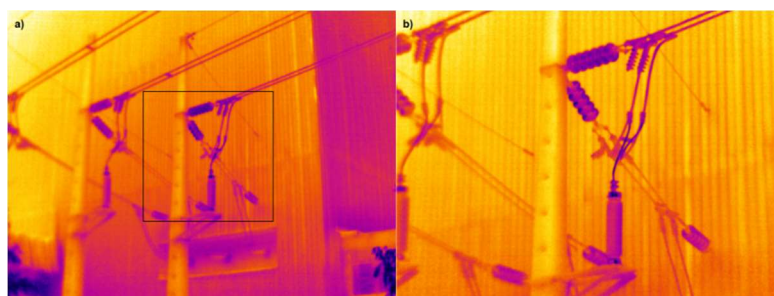


Figura 10 - Imagem câmera termográfica instalada no robô. a) Imagem sem zoom. b) Imagem com lente de zoom.

7.0 CONCLUSÕES

Foi apresentada uma visão geral sobre o desenvolvimento de um robô para inspeção autônoma e teleoperada assistida de subestações de extra alta tensão, capaz de capturar áudio, imagens termográficas e visíveis em alta definição, operando em terreno irregular de brita, executando rotas pré-agendadas ou sob demanda e desviando de obstáculos.

Os testes preliminares e em campo são promissores e o robô é capaz de se movimentar autonomamente na subestação, desviando de obstáculos e parando em pontos estratégicos para capturar dados.

O projeto está atualmente em fase de integração, testes e ajustes, finalizando a etapa de desenvolvimento de protótipo experimental. É esperada a continuidade do projeto com a adição de novas funcionalidades, além do aperfeiçoamento das atividades já executadas.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. F. Lages e V. M. Oliveira, “A survey of applied robotics for the power industry in Brazil,” *2nd International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI)*, pp. 78-82, 2012.
- [2] L. Li, D. Li, Y. Li, B. Zhang, J. Zhao, C. Zhang e Z. Dai, “A state-of-The-Art survey of the robotics applied for the power industry in China,” *International Conference on Applied Robotics for the Power Industry*, n° 4th, p. 1–5, 2016.
- [3] J.-F. Allan e J. Beaudry, “Robotic systems applied to power substations-a state-of-the-art survey,” *International Conference on Applied Robotics for the Power Industry*, n° 3rd, p. 1–6, 2014.
- [4] N. Back, A. Ogliari, A. Dias e J. C. D. Silva, *Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem*, São Paulo: Monole Editora Ltda, 2008.
- [5] L. R. A. Gamboa, R. L. B. Stonoga, G. S. Haveroth, J. F. F. Bianchi, V. S. Borges e F. R. Hopker, “Avaliação de Blindagem Eletromagnética para Aplicação em Inspeção Robotizada de Subestações,” *momag*, 2020.
- [6] G. Grisetti, C. Stachniss e W. Burgard, “Improving grid-based SLAM with Rao-Blackwellized particle filters by adaptive proposals and selective resampling,” *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, p. 2432–

2437, 2005.

- [7] D. Holz, A.-E. Ichim, F. Tombari, R. B. Rusu e S. Behnke, “Registration with the Point Cloud Library,” *IEEE Robotics and Automation Magazine*, p. 110–124, 2015.
- [8] W. B. a. D. F. Sebastian Thrun, *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*, The MIT Press, 2005.
- [9] C. Rösmann, F. Hoffmann e T. & Bertram, “Integrated online trajectory planning and optimization in distinctive topologies,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 88, p. 142–153, 2017.
- [10] D. V. Lu, D. Hershberger e W. D. Smart, “Layered costmaps for context-sensitive navigation,” *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, p. 709–715, 2014.
- [11] M. Colledanchise e P. Ögren, *Behavior Trees in Robotics and AI: An Introduction*, CRS Press, 2017.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) TUI ALEXANDRE ONO BARANIUK

Graduado em engenharia de computação pela UTFPR e mestre em robótica pela UFSC. Atua no desenvolvimento e coordenação de projetos P&D voltados ao setor elétrico, com ênfase nas áreas de automação e robótica aplicada.

(2) VICTOR SALVINO BORGES

Pesquisador no LACTEC a mais de 10 anos, com graduação e mestrado em engenharia elétrica pela UFPR. Engenheiro de segurança do trabalho pela UTFPR. Atua em projetos de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de robótica aplicada a manutenção, desenvolvimento de ferramentas e metodologias para atividades com rede energizada.

(3) FRANCISCO FRANCISCO ROBERTO HOPKER

Engenheiro Eletricista, UFPR - 1975

CEAG/FGV - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 1987 - 1989 Atividades:

Matrinchã e Guaraciaba Transmissoras de Energia - (2013 até hoje) - Diretor Técnico e Assistente da Diretoria Marumbi e Costa Oeste Transmissoras de Energia - (2012 - 2013) - Diretor Presidente e Técnico SIEMENS LTDA - 2002 - 2009 - Diretor Regional de Negócios INEPAR ENERGIA S.A. - 1997 - 2002 - Diretor de Projetos CEGELEC - GRUPO ALSTHOM - 1985 - 1991- Gerente Comercial COPEL - Companhia Paranaense de Energia (Curitiba, Brasil) - 1975 - 1985 - Engenheiro de Usinas UTFPR Curso de Engenharia Eletrônica - 1983 a 1985 - Professor Titular Curso de Geração de Energia

(4) GABRIEL DOS SANTOS HAVEROTH

Engenheiro Eletrônico (com ênfase em Sistemas Embarcados) formado pela UFPR. Possui experiência em desenvolvimento de Software, Sistemas robóticos, Visão computacional e Aprendizado de máquinas. Atualmente é Pesquisador no Lactec na área de Sistemas Elétricos dentro do Grupo de Robótica Aplicada. Também é mestrando no Programação de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, atuando na área de Inteligência Artificial.

(5) JOSÉ FRANCISCO BIANCHI FILHO

Possui graduação em Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação) pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR) e mestrado em Engenharia Elétrica no Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Suas áreas de pesquisa contemplam aprendizado de máquinas e visão computacional. Atualmente é pesquisador dos Institutos Lactec e doutorando em Engenharia Elétrica no Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

(6) OTAVIO MITSURU SHIONO

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná - UFPR (2016). Atua como pesquisador em projetos de P&D na área da Robótica, de Sistemas de Aterramento e Sistemas Elétricos de Potência.

(7) FABIO YUKIO NARA

Fábio Yukio Nara possui graduação em engenharia mecânica pela Universidade Federal do Paraná (2009) e mestrado profissional em Desenvolvimento de Tecnologia pelo Lactec (2020). Atualmente é pesquisador no Lactec na área de Sistemas Mecânicos. Possui experiência em desenvolvimento de modelos lógico-matemáticos para

simulação de processos de sistemas mecânicos, simulação em Fluido Dinâmica Computacional (CFD), ensaios de rendimento em turbinas hidráulicas, inspeção em vasos de pressão (NR-13) e projetos mecânicos.

(8) LUCAS DA SILVA NOLASCO

Lucas da Silva Nolasco é atualmente aluno do curso de Bacharelado em Engenharia de Computação na Universidade Tecnológica Federal do Paraná e atua como estagiário na área de Sistemas Elétricos nos Institutos Lactec.