

TATUBOT - Desenvolvimento de sistema robótico para inspeção de dutos

Emanuel da Silva Diaz Estrada¹ e Silvia Silva da Costa Botelho²

¹*Mestrando do Curso de Modelagem Computacional – FURG, Rio Grande, RS – emanuel@ee.furg.br*

²*Centro de Ciências Computacionais – FURG, Rio Grande, RS – silviacb@furg.br*

RESUMO: Neste trabalho é apresentado uma estrutura robótica móvel em desenvolvimento, para a inspeção de cabos de linhas de distribuição de energia elétrica subterrâneas. O sistema consiste de um robô móvel para se deslocar no interior de eletrodutos, equipado com sensores infravermelho, acústicos e dielétricos para a detecção de pontos de aquecimento, descargas parciais e a ocorrência de *treeing* nos cabos. Há também uma câmera *onboard*, que permite o acompanhamento da inspeção e a aplicação de algoritmos de reconhecimento de imagem, para auxílio na identificação de eventos, localização e navegação. São indicados aspectos mecânicos da estrutura, a arquitetura do sistema e os resultados iniciais do trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: redes subterrâneas de distribuição, inspeção automatizada, sistema robótico.

ABSTRACT: In this paper, it is presented the development of an innovative and low-cost robotic mobile system to be employed in inspection of underground electrical distribution lines and pipes. The system is composed of a robot with different sensors (infrared, acoustic, and FEF) which permit to move inside the pipes and detect overheated points, partial electrical discharges and the occurrence of cable treeing. It is showed the mechanical structure of the robot, the overall architecture of the system and preliminary results.

KEYWORDS: Robotic Inspection, Underground Electrical Distribution Lines

1. INTRODUÇÃO

A rede subterrânea de distribuição de energia elétrica é composta por cabos que se encontram nos mais diversos estados de conservação, sendo atualmente substituídos em manutenções preditivas ou corretivas. As Substituições por falha, frequentemente resultam em perda do serviço e interrupção do fornecimento, prejudicando consumidores e concessionárias, afetando de maneira direta os indicadores DEC/FEC. Em contrapartida, trocas periódicas podem conduzir à substituição precoce de cabos que se encontram em perfeitas condições de operação.

Estudos realizados nos Estados Unidos com cabos trocados em manutenções preditivas mostraram que em torno de 66% destes ainda apresentavam boas condições de uso [1,2], que poderiam continuar em operação a partir do diagnóstico prévio do estado de funcionamento, reduzindo custos de manutenção e operação.

Alguns métodos de monitoramento para o diagnóstico preventivo são baseados em redes de sensores distribuídas ou em vistorias técnicas altamente especializadas. Tais métodos caracterizam-se pelo alto custo, risco na execução e baixa exatidão [15].

Ao longo das últimas décadas tem se difundido o uso de sistemas robóticos em diversas atividades automatizadas, sendo crescente o interesse no desenvolvimento de estruturas robóticas móveis com supervisão/operação remota, orientadas à inspeção de locais de alto risco, insalubres e/ou inacessíveis. Isto em função das inerentes questões associadas à segurança e ao domínio da tecnologia como pelos avanços recentes em sensores, processamento de sinais, controle, comunicação, otimização. Os objetivos de trabalhos associados apontam também para benefícios científicos (coleta de dados, exploração espacial, etc.), econômico-financeiros (redução de custos, planejamento de manutenções, etc.), ambientais (redução de impacto ambiental, exposição a elementos poluidores/radioativos, etc.), humanitários (remoção de minas terrestres) e militares (sistemas de armas robóticas, reconhecimento do terreno, etc.) [28, 29 e 30].

Os desafios associados ao caráter confinado, não-estruturado e eletromagneticamente agressivo do ambiente devem ser considerados na autonomia, capacidade de processamento e comunicação, pois a inspeção pode desenvolver em grandes trechos subterrâneos. Questões associadas à temperatura interna e risco de descargas elétricas ao longo dos dutos devem ser consideradas.

Na literatura pode-se encontrar alguns trabalhos associados à utilização de robôs para monitoramento móvel de redes elétricas. A Tokyo Electric Power Co. desenvolveu um sistema robótico com dois manipuladores que navega e monitora linhas de fibra-ótica a serem instaladas sobre linhas de transmissão já existentes [4]. Também no Japão, foi desenvolvido um robô móvel para inspecionar linhas de transmissão [5], capaz de manobrar frente a obstáculos (equipamentos de auxílio). Projeto semelhante foi desenvolvido para inspecionar cabos alimentadores de sistemas elétricos de ferrovias [6]. Estes cabos são extremamente longos e apresentam muitos pontos irregulares e obstruções. Uma estrutura com multisegmentos com juntas de conexão e um controle biologicamente inspirado foi adotado, permitindo deslocamento com boa velocidade e capacidade de desvio de obstáculos. Outros sistemas teleoperados foram desenvolvidos para monitoramento de linhas vivas [7-9].

Neste artigo, propõe-se a construção de um veículo móvel para inspeção em tempo real de malhas de distribuição subterrâneas. O robô, denominado TATUBOT, é equipado com sensores de infravermelho, acústico, FEF (*Fringing Electric Fields*) e micro-câmera para monitoramento visual dos cabos, com comunicação wireless, informação de posicionamento e capacidade de operar em rede [10-12]. Particularmente, procura-se apresentar os primeiros resultados do projeto, associados à definição e construção de uma estrutura física de pequeno porte e adaptativa, capaz de mover-se sobre os cabos nos dutos.

O sistema será composto do agente robótico semi-autônomo, com capacidade de adquirir dados, processá-los e enviá-los a uma estação remota.

Visando o desenvolvimento do modelo, tem-se estudado o comportamento de diferentes sensores, capazes de identificar possíveis falhas incipientes que alertam para a degradação dos cabos subterrâneos [13,14]. O conjunto de informações adquiridas será usado pela estação remota para decisões de navegação e previsão de falhas, ou pelo próprio robô de forma autônoma. Um sistema de visão embarcado fornecerá informações para auxílio à localização e à navegação do robô.

Na seção II apresenta-se o sistema robótico proposto, focalizando aspectos de locomoção e da arquitetura do sistema embarcado. Na seção III define-se o conjunto de diferentes sensores que serão empregados para a análise da condição dos condutores. Na seção IV são apresentadas estratégias responsáveis pela navegação visual do sistema robótico e pela inspeção propriamente dita, isto é, o tratamento dos dados obtidos pelos diferentes sensores. Finalmente, alguns resultados e conclusões do estado atual do projeto serão apresentados na seção 5 e 6, respectivamente.

2. PLATAFORMA ROBÓTICA

No desenvolvimento da plataforma, deve-se considerar que o robô deslocar-se-á no interior do duto rígido, junto às linhas de média tensão, as quais estarão energizadas. Neste ambiente, além do espaço restrito, impondo limites nas dimensões do robô, os cabos podem estar acomodados em diferentes posições, dificultando a locomoção.

Para tanto, faz-se necessário uma estrutura mecânica com certa mobilidade, facilitando a passagem por possíveis obstáculos, que permita uma boa autonomia e, que seja capaz de acoplar um conjunto de dispositivos eletrônicos.

2.1 Estrutura mecânica

A solução adotada nesse trabalho considera que, para se locomover no interior de um duto, a estrutura mecânica necessita de rodas que sempre estejam em contatos com as paredes. A estrutura mecânica, mostrada na Figura 1, apresenta uma base com quatro rodas, sendo duas em cada extremidade.



Figura 1: Estrutura Mecânica

Uma das extremidades será responsável pela tração da plataforma robótica. Esta extremidade é formada por atuadores, presos em uma base no formato de 'L'. Estas bases são unidas por uma mola, garantindo a compressão das rodas nas paredes do duto, de forma a adaptarem-se às variações de diâmetro e imperfeições do mesmo. Além da tração, estas rodas possuem atuadores que permitem a deflexão no sentido de deslocamento. A outra extremidade comportará o sensor térmico e o sensor visual, onde também se encontra o outro par de rodas. Estas rodas não terão acionamento, somente auxiliarão no movimento e na odometria, possuindo um mecanismo para mantê-las sempre em contato com as paredes do duto. Entre as duas extremidades, serão acomodadas as baterias, circuitos eletrônicos e os sensores.

2.2 Arquitetura embarcada

A arquitetura embarcada será dividida em três módulos principais, o Módulo de Processamento Central (MCP), o Módulo de Aquisição de Dados (MAD) e o módulo de atuadores. O primeiro módulo é responsável pelo armazenamento dos dados, pela comunicação com a estação remota e a navegação local. O segundo módulo tem a finalidade de capturar, tratar e converter sinais analógicos para sinais digitais. O terceiro é responsável pelo controle da propulsão. Todos os módulos estão conectados por um barramento CAN, no modelo mestre/escravo (Figura 2).

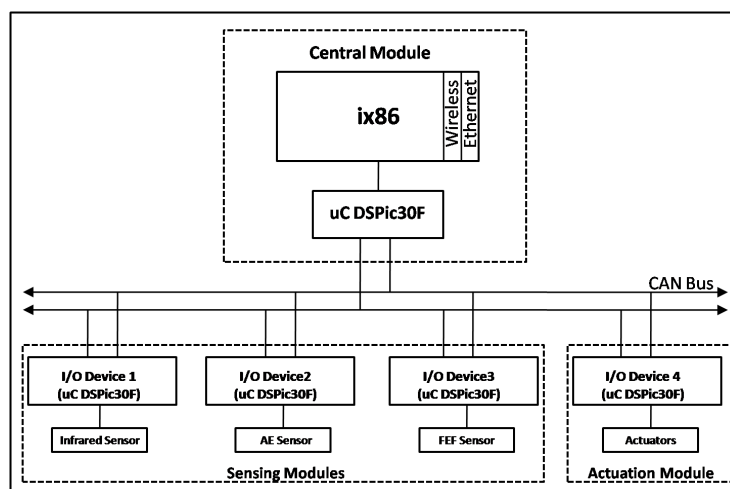


Figura 2: Arquitetura embarcada proposta

O MCP é constituído por uma arquitetura ix86, rodando uma plataforma GNU/LINUX. A navegação local e autônoma, realizada por este módulo monitora os dados obtidos pelo MAD. Primeiramente são reconhecidos pontos, permitindo a localização do robô, a seguir a MCP determina qual a próxima posição para qual o robô atingir, sendo esta informada ao microcontrolador responsável pelo acionamento dos atuadores.

A comunicação com a estação remota é feita de duas formas, um enlace sem fio e um com fio. Quando não ocorrer interferência do ambiente a comunicação é realizada pelo padrão wireless 802.11g, a uma taxa de transferência de até 54Mbps. Caso contrário, utiliza-se o padrão Ethernet, alcançando taxas de até 100Mbps. Desta forma, podem ser aproveitadas as facilidades da pilha TCP/IP, como por exemplo, a comunicação orientada a conexão, a qual garante confiabilidade à transmissão dos dados.

O MAD é composto basicamente por micro-controladores 16 bits, Microchip da família dsPIC30, operando em uma frequência de 30MHz. Sua principal função é o processamento de sinais oriundos dos sensores e a conversão A/D destes. Optou-se por associar a cada sensor existente um microcontrolador dedicado, garantindo paralelismo na aquisição dos dados para um melhor desempenho.

3. CONJUNTO DE SENSORES

A escolha dos sensores foi orientada à aquisição de sinais associados das principais variáveis físicas relacionadas à deterioração dos cabos e fatores como: capacidade de amostragem, uma vez que uma frequência elevada de medições é necessária; tamanho e peso, permitindo a acoplagem à plataforma robótica e não interferindo em sua autonomia; condições de lidar com o ambiente de inspeção, onde interferências eletromagnéticas, temperatura, poeira e outros fatores podem causar danos aos sensores [12,15].

3.1 Sensor infravermelho

O aquecimento caracteriza pontos de falhas em potencial vindo a contribuir para completa deterioração do isolamento dos cabos de distribuição de energia. O aumento da temperatura causa uma aceleração em uma taxa de até 3.7 no envelhecimento do isolante dos cabos [16]. Geralmente o aquecimento ocorre devido à sobrecarga, dano físico, fatores de envelhecimento do isolante ou em condições onde ocorre cruzamento de cabos. Pontos de calor são freqüentemente acompanhados por descargas parciais [10].

Como principal vantagem deste tipo de medição tem-se a não necessidade de contato físico. Assim leituras podem ser realizadas, enquanto o robô desloca-se ao longo do cabo, não exigindo paradas para que seus dados sejam adquiridos [15]. As leituras são feitas continuamente e repassadas ao MCP. Este percebendo um ponto de calor, quando em modo autônomo, reduz a velocidade de inspeção para os outros sensores realizem suas medições com a precisão necessária.

3.2 Sensor acústico

A inspeção acústica visa à detecção de descargas parciais nos cabos de distribuição de energia. Estas ocorrem quando o isolamento dos cabos está danificado (ocorrência de *electrical trees*) [32], causando uma rápida emissão de energia resultando em uma vibração acústica detectável [15]. As descargas parciais são as precursoras de falhas totais, permitindo estimar o tempo restante de vida de um cabo de energia.

O sensor acústico apresenta certas vantagens em relação a outros métodos de detecção de descargas parciais. Ele não sofre interferência do meio, não é um método destrutivo, opera em uma ampla faixa de frequências, tem uma grande taxa de aquisição e permite operar em linha viva. Por estas razões, ele é freqüentemente utilizado para monitorar atividades em transformadores e *switchgear*. Um problema enfrentado na detecção é a atenuação da propagação do sinal, necessitando, assim, de a medição ser realizada a uma distância mínima do material, exigindo que o robô locomova-se muito próximo aos cabos. Outro fator importante associado ao uso de tal sensor é a necessidade de alta taxa de amostragem, ocasionando um grande volume de dados adquiridos. Mesmo existindo um enlace direto com a estação remota, esses dados passarão por um tratamento, a fim de separar frequências de interesse, e posteriormente transmiti-los.

3.3 Sensor FEF

Medidas das propriedades dielétricas do revestimento dos cabos provem informações importantes sobre o estado dos cabos. A medição mais óbvia é a de presença de água no isolamento do cabo. A existência de *treeing* devido à presença de água na estrutura da isolação dos cabos, são as causas mais comuns de descargas parciais [12][32]. Essas falhas geralmente se desenvolvem a partir de pequenas fissuras, e levam de muitas semanas a vários anos para causarem uma falha no cabo.

O uso de sensor dielétrico se justifica para complementar o uso do sensor acústico, já que as descargas parciais captadas pelo sensor acústico são intermitentes, isto é, podem não ocorrer enquanto o cabo está sendo inspecionado.

O sensor dielétrico testa a condição atual do material isolante do cabo, ao invés de medir o resultado da falha do isolamento, no caso, as descargas parciais [17]. Para tal, ele é acoplado na plataforma robótica para tomar medidas contínuas, não detectando apenas falhas na

superfície do isolamento do cabo, mas também no interior. A medida da capacidade dielétrica do isolante é uma métrica eficiente para a determinação de quão deteriorado está o cabo.

3.4 Sensor visual – camera

A utilização de câmeras no sensoriamento do robô permite ao operador da estação remota, acompanhar o andamento da missão de inspeção e torna possível a utilização de métodos avançados de visão computacional na determinação da localização do robô, como será explicado na próxima seção.

4. NAVEGAÇÃO E INSPEÇÃO

A navegação do agente robótico pode ser controlada de forma autônoma ou por um operador, através da estação remota. Quando um evento é detectado, há a necessidade de saber sua localização. Para tanto são utilizados dados de odometria (distância percorrida) e um algoritmo para localização por visão, compondo um sistema multisensorial.

A inspeção dos dados é feita automaticamente pela estação remota, através da aplicação de um método de inteligência artificial. O uso de Máquinas de Vetores Suporte (SVM – *Support Vector Machines*) foi escolhido para analisar e classificar as falhas devido a sua grande capacidade de aprendizado e classificação, além de sua velocidade neste último processo.

4.1 Utilizando Máquinas de Vetores Suporte para inspeção autônoma

As SVM's constituem uma técnica de aprendizado que vem recebendo grande atenção nos últimos anos [22]. Isso se deve, principalmente, a sua boa capacidade de generalização e robustez diante de dados de grandes dimensões.

Dado um conjunto de treinamento E com n pares (x_i, y_i) , onde $x_i \in \mathbb{R}^m$ e $y_i \in \{-1, +1\}$, as SVMs buscam um classificador linear $g(x) = \text{sgn}(w \cdot x + b)$ capaz de separar dados pertencentes a E com erro mínimo e maximizar a margem ρ de separação entre as classes presentes em E . Chama-se de margem de separação, $\rho(x_i, y_i)$, a distância entre a amostra x_i e o hiperplano de separação das classes. Maximizar ρ equivale a minimizar a norma de $\|w\|$ [23]. Logo, pode-se manter ρ fixo e buscar um hiperplano com $\|w\|$ pequeno tal que não haja exemplos de treinamento com margem menor que ρ [24]. Fixando ρ em 1, tem-se o seguinte problema de otimização:

Minimizar: $\|w\|^2$

Sob as restrições: $y_i(w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0$, para $i=1, \dots, n$

A solução deste problema é um hiperplano capaz de realizar a classificação de classes linearmente separáveis. Para padrões mais complexos, não lineares, utiliza-se o artifício de permitir que alguns elementos possuam margem menor que ρ . Relaxando as restrições do problema de otimização, pode-se obter a classificação de dados que não são totalmente linearmente separáveis. Neste trabalho, conjuntos de informações sensoriais são utilizadas para treinar SVMs, de forma a classificar os diferentes estados possíveis de operação dos cabos, com base nas informações da câmera.

4.2 Localização por visão

As informações visuais para a Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM – *Simultaneous Localization and Mapping*), são baseadas ou no método do fluxo ótico [25] ou na detecção de pontos de características naturais e artificiais (*landmarks*) [26]. Nestes últimos, as imagens processadas em tempo real, fornecem pontos de referência que auxiliam a localização do veículo e na montagem de mapas das regiões navegadas, bem como uma análise da dinâmica dos quadros (frames) capturados contribui na determinação do deslocamento realizado pelo robô.

Na localização baseada em *landmarks*, adotada neste trabalho, o processo de localização e mapeamento do ambiente é dividido nas tarefas de detecção, verificação de casamento entre pontos de interesse, semelhantes em imagens sucessivas e a estimativa de movimento e localização.

Dado que as instalações subterrâneas, a disposição e as características dos cabos podem variar, propõe-se a utilização de dois métodos distintos para a obtenção de *landmarks*: **i.** o método SIFT [26] e **ii.** o método Shi-Tomasi Tracker [27]. A seguir são apresentadas as abordagens propostas.

Utilização de Informação Visual para Localização do Robô em Instalações Monótonas. Considerando um ambiente subterrâneo, no qual se dará a inspeção, possuindo poucas características (*features*) a serem extraídas, propõe-se o algoritmo SIFT como método de extração de pontos de interesse. Este algoritmo se caracteriza por ser bastante robusto e possuir elevada complexidade computacional, sendo um método de processamento de imagens que permite à detecção e a extração de descritores locais, razoavelmente invariantes a mudanças de iluminação, ruído de imagem, rotação, escala e a pequenas mudanças de perspectivas. Os descritores são altamente distintivos, ou seja, um ponto pode ser corretamente localizado em um grande conjunto de pontos, somente utilizando seu descritor.

Para sua execução, o algoritmo SIFT encontra os descritores e pontos em uma sequência de etapas. Primeiramente é feita uma detecção de extremos no espaço de escala com a utilização de função baseada na diferença de gaussianas (DOG - *Difference-of-Gaussian*). Posteriormente, é feita a localização de pontos-chaves, (com precisão de subpixel) baseada em medidas de estabilidade. Por fim é determinada a orientação do ponto e gerado o descritor local de cada ponto-chave.

Utilização de Informação Visual para Localização do Robô em Instalações com Marcas Bem Definidas. Uma segunda abordagem se aplica a ambientes que possuem *landmarks* bem definidos ou artificialmente gerados, facilitando o processo de extração de características. Neste caso, é possível a utilização de algoritmos mais simples e com menor custo computacional que, por exemplo, o SIFT. Nesta proposta, utiliza-se o algoritmo Shi-Tomasi Tracker. Tal método baseia-se na detecção de áreas de grande variação do gradiente da imagem, através do uso de aproximações de derivadas de primeira ordem. Para estabelecer correspondências entre pontos, considera-se uma vizinhança em torno de cada ponto, a fim de calcular medidas de similaridade, as quais são usadas para encontrar verdadeiras correlações. A medida de similaridade adotada neste modelo é o *Correlation Score* (CS), isto devido à sua alta estabilidade.

Em ambas as abordagens, a detecção de pontos de interesse correlacionados (*matching*) obtidos em imagens sucessivas é executada através da aplicação de métricas de similaridade. Estas fornecem pares de possíveis *matchings* que são passados à etapa de estimativa de localização e movimento.

Uma matriz de homografia (estimativa) é utilizada na etapa final da localização [28]. Esta estimativa é efetuada a partir do conjunto de pontos correlacionados, servindo como matriz de transformação para todos os pixels de uma imagem (a matriz obtida já fornece um mosaico da

área a ser inspecionada). No caso, se utiliza uma matriz de apenas três graus de liberdade, eq. (1), visto que os movimentos do robô são restritos a apenas ao deslocamento e à rotação em torno de um eixo.

$$\begin{bmatrix} \lambda x' \\ \lambda y' \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & t_x \\ \sin \theta & \cos \theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{eq. (1)}$$

Com base na transformação homográfica obtém-se o centro de cada imagem obtida e a partir deste, infere-se a posição do robô ao longo do seu deslocamento. Detalhes do sistema de visão e o auxílio deste a localização do robô podem ser encontrados em [29 e 30].

5. TESTES E RESULTADOS

O projeto TATUBOT encontra-se em fase de desenvolvimento. Alguns resultados já foram obtidos e serão mostrados a seguir.

5.1 Estrutura mecânica

A estrutura mecânica do robô permite sua adaptação a diferentes diâmetros de dutos, possibilitando a transição entre eles. A Figura 3 exibe o cenário onde ocorre uma variação de diâmetro do duto. Neste caso, o robô deve atravessar uma variação de um diâmetro menor (D1) para um maior (D2).

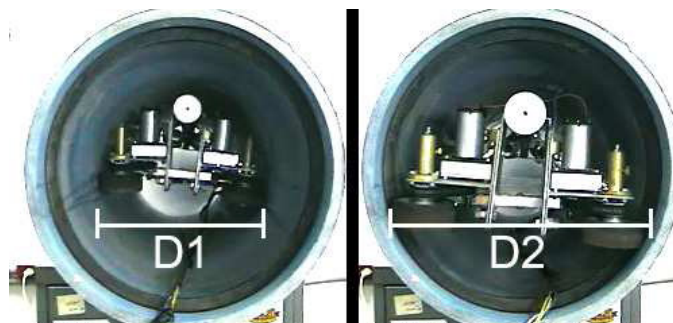


Figura 3: Adaptação da estrutura mecânica a uma variação de diâmetro

As rodas motrizes possuem um movimento angular, como descrito na figura 4, os quais são controlados por motores independentes. Este movimento angular permite ao robô realizar rotações no interior do duto, conforme a figura 5 ilustra. Este tipo de movimento possibilita corrigir a posição do robô, assim como ultrapassar pontos com cabos sobrepostos.



Figura 4: Eixo de rotação nas rodas motrizes

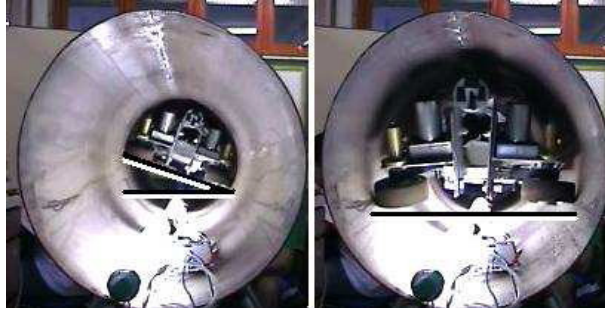


Figura 5: Correção de posição através de uma rotação

5.2 Sensores

Em experimentos realizados em laboratório, usou-se como sensor térmico o pirômetro (modelo CI) da Raytec Co., para medições de temperatura. Este permite a identificação de pontos de calor junto aos cabos.

A figura 6 mostra uma série de leituras realizadas em uma simulação realizada em laboratório, onde foi utilizado um condutor e uma resistência elétrica para simular um ponto de calor. Nota-se que a maior parte do condutor apresenta uma temperatura próxima à ambiente, ocorrendo uma elevação no ponto onde se encontra a resistência.

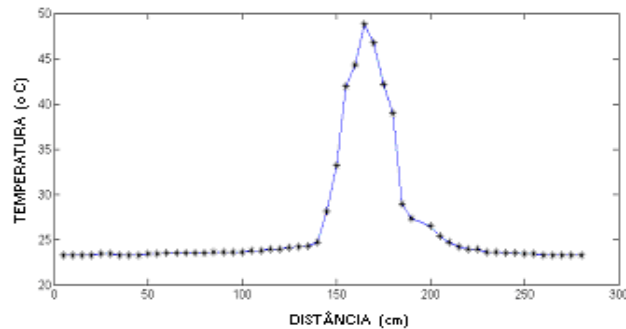


Figura 6: Leitura feita sobre um condutor com um ponto de calor

Para validar o sistema de localização do robô, foi acoplada uma câmera de vídeo Samsung SC-D364 a base do robô e gravado um deslocamento linear de 96 centímetros e um tempo de 38 segundos no interior do duto. O sistema visual foi testado em um *desktop* Intel core 2 Quad Q6600, com 2 Gb de RAM. A câmera é padrão NTSC usando 320x240 pixels a uma taxa máxima de 29.97 *frames* por segundo, da mesma forma do teste anterior. O resultado apresentado pelo sistema de visão é demonstrado pela figura 7. A linha verde desta figura representa o movimento principal, usado como comparação para a distância previamente conhecida. Foi encontrado um erro de aproximadamente 2 centímetros entre o valor real e o valor retornado pelo SIFT. O outro movimento, representado pela linha azul, mostra uma pequena rotação no interior do duto, o qual será desprezada. Estes valores foram ao encontro do esperado, apresentando um gráfico linear. Assim o sistema de visão deste robô é capaz de auxiliar na navegação, uma vez que fornece dados de posição, tempo e, conseqüentemente, velocidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inspeção de dutos subterrâneos de distribuição de energia elétrica é ainda um grande desafio para as empresas do setor. Soluções tecnológicas que permitam a verificação do estado de dutos e cabos podem contribuir bastante para a diminuição de falhas de abastecimento, conduzindo a lucros e melhor qualidade de serviço.

O presente artigo apresentou uma proposta para inspeção automatizada de Sistemas de Distribuição Subterrâneos de Energia. O projeto é baseado no estudo e desenvolvimento de um sistema robótico de inspeção, dotado de sensores para verificação do estado dos cabos e dutos.

Uma plataforma robótica com hardware e software embarcados foi proposta para atender especificações de tamanho, consumo e demais restrições impostas pela natureza do ambiente a ser inspecionado.

A arquitetura do sistema é baseada em um conjunto de módulos embarcados, compostos por processadores dedicados (PICs) e um processador ix86 (S.O. Linux). Uma interface na estação remota permite a visualização on line dos dados captados pelos sensores e o auxílio automatizado na classificação, realizado do classificador SVM.

Testes relacionados com os sensores e de localização/ navegação por visão foram apresentados. O projeto mecânico foi desenvolvido e um protótipo está sendo construído. Como perspectivas em curto prazo, está a implementação do sistema robótico e a integração de todos os seus módulos, bem como a realização de testes em malha piloto construída para tal.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo seu apoio a pesquisa científica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Morris, D. Ferguson, Z. Omohondro, et. al. Recent Development in Robotics. Journal of Field Robotics. No. 23, vol 1, pp. 35-57. John Wiley Periodicals, inc. 2006.
- [2] R. Kirkhan, P. D. Kearney, K. J. Rogers and J. Mashford. PIRAT – A system for a Quantitative Sewer Pipe Assessment. The International Journal of Robotics Research, vol. 19, no. 11, pp. 1033-1053. November, 2000.
- [3] D. Dorotfei, E. Colon, Y. Baudoin and H. Shali. Development of Semi-Autonomous Off-Road Vehicle. Human Machine Interaction Conference 2007 (HUMAN'2007). March, 12-14, 2007. Metz, France.
- [4] Y. Baudoin. Advanced Adaptative Control for Outdoor Mobile Robotic System Facing Unstructured Environments: Application to Humanitarian Demining. International Symposium on Adaptative and Intelligent Robots: Present and Future. International Advanced Robotic Program (IARP). 2005. Moscow, Russia.
- [5] M. Tsutsui et al, "Manipulator System for Constructing Overhead Distribution Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*. Vol. 4, no. 2, pp. 1904-1909. July, 1989.
- [6] J. Sawada, K. Kusumoto et al, "A Mobile Robot for Inspection of Power Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 6, pp. 309-315, 1991.
- [7] H. Kobayashi, H. Nakanura. And T. Shimada, "An Inspection Robot for Feeder Cable-Basic Structure and Control", *International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, Vol. 2, pp. 992-995, 1991.

- [8] S. Nio, Y. Maruyama, "Remote-operated System for Live-line Maintenance Work", *ESMO-93Sixth International Conference on Transmission and Distribution Construction and Live Line Maintenance*, Vol. 1. pp. 425-435, 1993.
- [9] M Boyer, "Systems integrations in Telerobotics: Case Study: Maintenance Electric Power Lines", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1042-1047, 1996.
- [10] A. Santamaria, R. Aracil et AL, "Teleoperated Robots for Live Power Lines Maintenance" (*ROBTET*). *14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, Vol 3, 31-1-31/5, 1997.
- [11] B. Jiang, P. Stuart, M. Raymond, D. Villa, and A. V. Mamishev, "Robotic Platform For Monitoring Underground Cable Systems", *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference* , vol. 2, pp. 1105-1109, Yokohama, Japan, Oct. 2002.
- [12] B. Jiang, A. Sample e A. Mamishev. "Mobile Monitoring for Distributed Infrastructures". Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation. Niagara Falls, Canada. July 2005.
- [13] W. Reder, D. Flaten, "Reliability Centered Maintenance for Distribution Underground Systems", *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, vol. 1, pp. 551-556, 2000.
- [14] P. Birkner, "Field Experience With a Conditional-Based Maintenance Program ok 20-KV XLPE Distribution System Using IRC-Analisys", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 19, no. 1, pp. 3-8, 2004.
- [15] E. David, N. Amyot, J.F. Drapeau. "Diagnostic os Field Aged Cables and Accessories by Time-Domain Dielectric Spectroscopy". 2003 Annual Report on Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2003, pp. 165-170.
- [16] N.H. Ahmed e N.N. Srinivas. "On-line Partial Discharges Detection in Cables". *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 5, no. 2, pp. 181-188. 1998.
- [17] R. Lyle, "Effect of Testing Parameters on the Outcome of the Accelerated Cable Life Test", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 3, no. 2, pp. 434-439, 1998.
- [18] L. Lamarre, D. Fournier, and R. Morin, "Early Detection of Faults In Underground Distribution Cable Joints By Partial Discharge Measurements", *Proceedings of the 4th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials* ,2, 864-867. 1994.
- [19] M. D. R. Teixeira Junior. Cabos de Energia. Livro. 178 págs. Editora FICAP. 2001.
- [20] B. Jiang, A. Sample, R. Wistort, and A. V. Mamishev, "Autonomous robotic monitoring of underground cable systems", *Proceedings of the 12th International Conference on Advanced Robotics*, pp. 673-679, 2005.
- [21] A.V. Mamishev, Y. Du, B.C. Lesieutre and M. Zahn , "Development and applications of fringing electric field sensors and parameter estimation algorithms". *Journal of Electrostatics*. 46 (1999), pp. 109-123.
- [22] Hearst, M. A. et al. "Trends and controversies - support vector machines", *IEEE Intelligent Systems* , vol 13(4), pp. 18-28, 1998.
- [23] Smola, A. J. e Schölkopf, B. "Learning with Kernels." The MIT Press, Cambridge, MA, 2002.
- [24] Cristianini, N. e Shawe-Taylor, J.. "An Introduction to Support Vector Machines and other kernel-based learning methods.", Cambridge University Press, 2000.
- [25] S. Se, D. Lowe and J. Little, "Vision-based global localization and mapping for móbile robots", *IEEE TRA*, Vol. 21, pp. 364-375, 2005.
- [26] D. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", *International Journal of Computer Vision*, pag.91-110 Vol. 60, 2004.
- [27] J. Shi, C. Tomasi, "Good Features to Track", *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp 593-600, 1994.

- [28] B. S. Boufama, "The use of homographies for view synthesis", *In Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition*, pages 563-566, 2000.
- [29] P. L. J. Drews Jr., S. S. C. Botelho, M. M. Medeiros, T. M. Centeno, "Using SIFT Algorithm for visual-based Localization in Multi-AUVs Fleet", *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Anais do SBAI*, 2007.
- [30] S. S. C. Botelho, P. L. J. Drews Jr., C. A. B. C. W. Madsen, "A Visual System for Distributed Mosaics using an AUVs Fleet", *IEEE Oceans 2007*, pp. 332-337, 2007.