

Monitoramento de Linhas de Transmissão com Sensores Integrados a um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

R. S. Penze¹, C. F. Barbosa¹, J. B. Rosolem¹, F. A. Teixeira¹, R. M. G. Stevaux¹, E. P. Toledo¹, D. H. R. Souza¹, M. E. Freitas¹ e D. Almeida³.

Resumo – Este artigo apresenta o projeto, desenvolvimento e resultados alcançados com o projeto de pesquisa “Cadastro Georreferenciado de Linhas de Transmissão e Monitoração com Sensoriamento Remoto”, realizado no âmbito do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL no ciclo 2005/2006. Com a participação e execução do CPqD e da Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. - foi implantado um protótipo de sensoriamento remoto constituído de equipamentos de sensoriamento que permitem monitorar os principais fatores que acarretam faltas em linhas de transmissão de energia elétrica integrado a um Sistema de Informações Geográficas com plataforma de software livre e padrões internacionais de interoperabilidade. Os resultados obtidos indicam que a utilização do protótipo é economicamente viável e implica em maior agilidade no reparo de danos de linhas de transmissão de energia elétrica e auxílio na prevenção de problemas de manutenção.

Palavras-chave – Monitoramento de Linha de Transmissão; Sensores de Linha de Transmissão; inventário, SIG.

I. INTRODUÇÃO

O projeto de P&D Cadastro Georreferenciado de Linhas de Transmissão e Monitoração com Sensoriamento Remoto (ANEEL 0372-09/2006) foi executado pelo CPqD¹ em parceria com a UFMT², com apoio financeiro da ELETRONORTE³ e foi concluído em dezembro de 2010 com a implantação do protótipo final em campo.

As linhas de transmissão (LT) desempenham um papel fundamental no sistema elétrico nacional, pois são responsáveis pelo transporte de grandes blocos de energia interligando regiões distantes geograficamente. Sendo assim, é necessário que as linhas apresentem um desempenho confiável ao

longo de sua vida útil, minimizando problemas relacionados à descontinuidade dos serviços.

Os eventos conhecidos como “faltas” são na maioria das vezes imprevisíveis, e podem afetar um sistema de transmissão de energia elétrica causando a interrupção no fornecimento. As “faltas” em linhas de transmissão podem ocorrer devido a vários fatores, tais como: problemas de isolamento em função de poluição por pássaros, queimadas próximas à linha de transmissão, descargas atmosféricas, contatos entre os cabos da linha de transmissão, vandalismo, entre outros.

O monitoramento de Linhas de Transmissão (LT) [3], integrado a um sistema baseado em SIG [4], é uma poderosa ferramenta para tomadas de decisões em uma empresa do setor elétrico, pois permite monitorar vários parâmetros que podem ocasionar o evento de “falta” indicando sua localização na rede de transmissão. Ademais, os dados coletados ao longo do tempo servem como suporte para análises do comportamento da LT fornecendo subsídios para tomada de decisão das equipes de manutenção / operação em ações antecipadas para evitar um evento de “falta”. O uso da ferramenta e a análise das informações coletadas poderão reduzir custos operacionais que envolvem a manutenção, através de um melhor detalhamento dos equipamentos que a compõem, da localização dos pontos de acesso, condições de entorno e tipos de faltas que devem ser sanadas. Para atender aos objetivos deste trabalho, desenvolveu-se um protótipo que foi instalado em uma unidade remota composto de sensores e câmera para monitoração das condições de operação de uma torre de transmissão de energia elétrica. O protótipo é composto por: a) dois Terminais de Sensoriamento Remoto (TSR) apresentados na Figura 1; b) dois sensores de detecção de descargas atmosféricas que operam em conjunto; c) um SIG que recebe as informações de monitoramento dos sensores através de uma arquitetura de rede de transmissão de sinal ethernet; d) um sistema de alimentação de baterias alimentadas por painéis solares. Os TSRs são compostos dos seguintes elementos: câmera de vídeo rotativa com capacidade de detecção de imagens em infravermelho e detecção de movimento; sensor de corrente de isolamento de fuga de isoladores; sensor de descargas atmosféricas; sensores de presença; alarmes sonoros; anemômetro; roteador Ethernet com saídas redundantes; painel solar; baterias; controlador de carga e armário de abrigo dos equipamentos.

Muitos benefícios podem ser alcançados com o uso do protótipo, com destaque para: consultas integradas da ocor-

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

O projeto de P&D utilizou recursos humanos do CPqD(1) e teve o suporte financeiro da ELETRONORTE (2) com coordenação realizada por Mirian Ellen de Freitas¹ (mfreitas@cpqd.com.br) e Dirceu de Almeida³ (dirceu.almeida@eln.gov.br).

R. S. Penze, C. F. Barbosa, J. B. Rosolem, F. A. Teixeira, R. M. G. Stevaux, E. P. Toledo, D. H. R. Souza e M. E. Freitas trabalham no CPqD (e-mails: rpenze@cpqd.com.br; grcelio@cpqd.com.br, rosolem@cpqd.com.br, teixeira@cpqd.com.br, stevaux@cpqd.com.br, eptoledo@cpqd.com.br; dreis@cpqd.com.br; mfreitas@cpqd.com.br).

D. Almeida³ trabalha na ELETRONORTE (e-mail: dirceu.almeida@eln.gov.br).

rência de falta ao cadastro de inventário dos tipos de equipamentos envolvidos; condições de acesso; localização da equipe de apoio dos centros de operação mais próxima da ocorrência; informações de solo, relevo e vegetação, permitindo visualização do local de ocorrência da falta; melhor avaliação das necessidades de carga de peças de reposição, trajetos a percorrer para atender roteiros de inspeção e maior racionalização do acionamento das equipes de campo, além da otimização de procedimentos de inspeção preventiva.

Outro benefício, em médio prazo, será a identificação mais precisa e mapeamento das principais causas de desligamento, impactos ambientais e situação de áreas de preservação ao longo das linhas de transmissão de energia elétrica, permitindo planejamento de ações preventivas e a coordenação de ações entre as equipes de operação, manutenção e meio-ambiente.

II. MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO

As linhas de transmissão de energia elétrica possuem ao longo de sua faixa de servidão um campo eletromagnético que deve ser levado em consideração na instalação de equipamentos, principalmente na utilização de equipamentos sensíveis a variações eletromagnéticas.

A instalação do protótipo desenvolvido iniciou-se com um pré-projeto submetido a Eletronorte. Este pré-projeto, conforme mostra a Figura 1, define na estrutura da torre de transmissão os pontos de posicionamento dos TSRs e do sistema de alimentação.

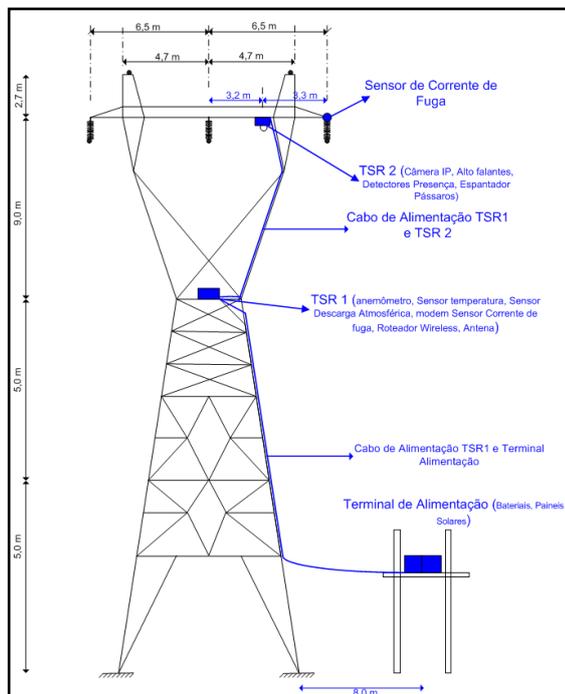


Figura 1 - Detalhes da Estrutura

A estrutura escolhida para a instalação dos equipamentos de sensoriamento remoto foi a torre 26 da linha Coxipó-Rondonópolis, Figura 2.

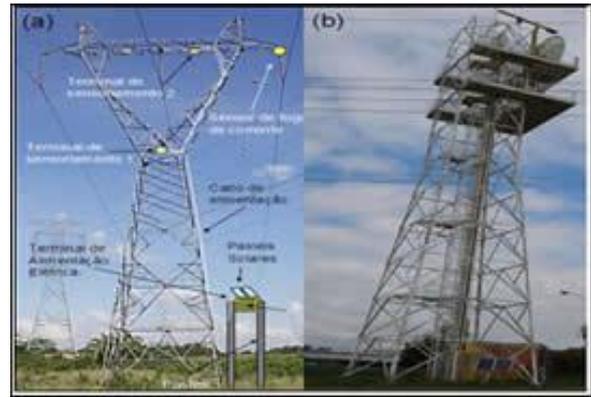


Figura 2 - Montagem em campo: (a) Estrutura da Linha Coxipó-Rondonópolis situada a aproximadamente 0,8 Km da subestação de Coxipó. (b) Torre para testes situada no CPqD.

Situada a aproximadamente 0,9 km da subestação de Coxipó, numa região urbana e de fácil acesso, margeando a Avenida das Torres no município de Cuiabá-MT. A estrutura da torre, do tipo S2, tem aproximadamente 27 metros de altura e é a primeira estrutura de suspensão da linha, considerando o sentido Coxipó-Rondonópolis.

Testes preliminares em campo auxiliaram na calibração dos equipamentos para a montagem final e comprovaram a viabilidade de utilização dos equipamentos e da transmissão dos dados de monitoramento.

Detalhes da instalação podem ser observados na Figura 3: (A) visão geral do sistema de monitoramento e alimentação de energia; (B) e (C) sistema de alimentação de energia; (D) TSR1 com o sensor de descarga atmosférica e anemômetro; (E) detalhe do sensor que mede a corrente de fuga no isolador; (F) imagem fornecida pelo sistema de monitoração ao detectar a presença de um pássaro na torre.

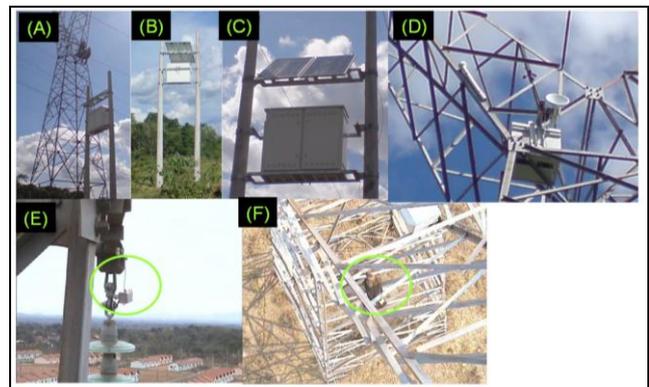


Figura 3 - Detalhe da instalação dos sensores e sistema de alimentação.

O sistema para detecção de corrente de fuga em isoladores (E) é composto de duas unidades, uma Unidade Remota instalada junto ao isolador que envia os dados via rádio frequência 802.11 b/g e uma unidade base instalada dentro do armário identificado com TSR1.

Foi utilizado um sensor do tipo “Shunt” instalado entre a ferragem da estrutura e o isolador, em uma cadeia de fase lateral, cujas ferragens são uma peça F1354-01 (elo-olhal) e uma peça F1340 (garfo-bola), conforme Figura 4.

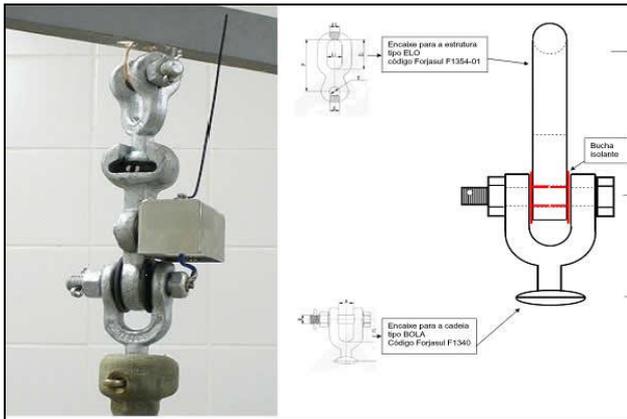


Figura 4 - Sensor de corrente de fuga

Na Figura 5 é visualizado o detalhe da instalação do sensor de corrente de fuga na estrutura da Linha Coxipó-Rondonópolis.



Figura 5 - Detalhe da instalação do sensor de corrente de fuga

A comunicação entre o TSR1 e o prédio de telecomunicações da subestação de Coxipó é feito através de um enlace operando na frequência de 2,45 Ghz. Os dois rádios estabelecem uma comunicação sem fio no padrão LAN IEEE802.11b/g, através de uma conexão ponto a ponto no sistema WDS (*Wireless Distribution System*), nesse sistema os rádios só se comunicam um com o outro controlando acesso através do MAC *Adreess* de cada rádio.

A extensão estimada do enlace é de 900 metros com visada direta, detalhe na Figura 6, atrapalhada por algumas estruturas entre os pontos de instalação dos rádios. Embora a distância entre os dois pontos de instalação dos rádios não seja grande, os rádios ainda estão equipados com duas antenas direcionais tipo corneta com ganho de 13 dBi para garantia da comunicação.



Figura 6 - Distância da Estrutura até a Subestação

O sistema de monitoramento de invasão e detecção de pássaros é composto de uma caixa metálica para abrigo dos

equipamentos de controle dos seguintes sensores: câmera de vídeo, sensores de presença e espanta pássaros. A câmera de vídeo possui um abrigo próprio que é fixado na caixa metálica. A Figura 7 apresenta em detalhe o interior da caixa metálica.

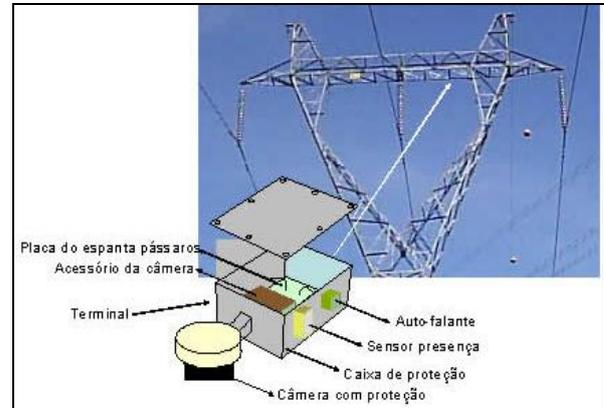


Figura 7 - Detalhes do interior da caixa metálica

A Figura 8 e a 0 apresentam as fotos da instalação do terminal de sensoriamento 2. A comunicação do TSR2 com o ponto concentrador de informações de monitoramento TSR1 pode ser feito utilizando uma interface de rádio 802.11 b/g ou utilizando cabo trançado RJ45. A desvantagem em se utilizar par trançado se deve ao fato de que pode ocorrer indução de corrente e, conseqüentemente, a queima de dispositivos. No protótipo instalado optou-se por utilizar comunicação através da interface de rádio 802.11 b/g.

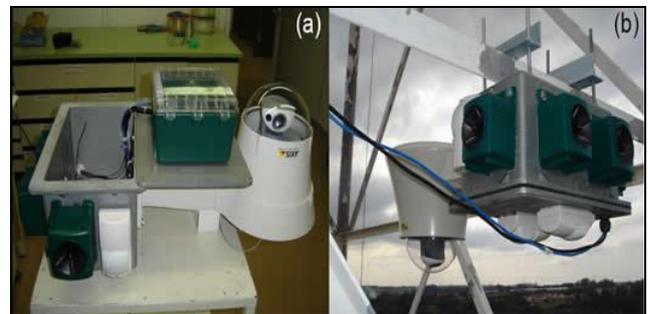


Figura 8 - (a) montagem em laboratório (b) instalação no TSR.



Figura 9 - Instalação do terminal de Sensoriamento 2

Para a estação meteorológica foi escolhido o anemômetro Weather Wizard III – Davis, Figura 10, a fim de monitorar possíveis corredores de ventos que venham a atingir a linha de transmissão e, dessa forma, causar falhas através do contato entre os cabos.



Figura 10 - Anemômetro

No TSR1 foi instalado um sensor de descargas atmosféricas modelo Boltek LD-250, Figura 11. O modelo foi escolhido devido às seguintes características: possibilidade de instalação em torres de linhas de transmissão; saída de dados aberta, via interface RS-232; alimentação DC-12V; baixo custo – dado que o custo é um fator importante a ser considerado na possibilidade de utilização do sensor em larga escala. O sensor passou por uma bateria de testes em laboratório, nos quais foram feitos ensaios com e sem blindagem eletromagnética. Na instalação do sensor na torre decidiu-se por não adicionar a blindagem. Porém, após um período de testes verificou-se que os efeitos corona da rede influenciaram no sensor, gerando uma gama de ruídos. Um teste a ser realizado é a inserção de blindagem na antena do sensor para analisar se a influência eletromagnética não interfere na coleta de informações de ocorrências de descargas atmosféricas.



Figura 11 - Detalhe da instalação do Boltek LD-250

A última fase do projeto consistiu da inclusão e avaliação de um novo modelo de sensor de descarga atmosférica.. Dois equipamentos modelo Boltek Storm Tracker dotados de entrada para captura de dados via GPS, com capacidade de fornecimento do tempo exato da descarga atmosférica ocorrida, foram utilizados para cálculo da localização da descarga ao longo da área monitorada. Através da coleta do tempo de chegada da descarga atmosférica, por ambos sensores, é feito o cálculo (através de triangulação) do ponto x,y da descarga sendo possível projetá-la no mapa do SIG integrado.

O alcance máximo de detecção de descargas atmosféricas dos sensores Boltek é de 450 km. Considerando este valor como referência, foram feitos alguns cálculos para a escolha dos pontos de instalação dos equipamentos, a escolher entre a LT Jauru-Coxipó e a LT Coxipó-Rondonópolis, com o objetivo de monitorar a linha Coxipó-Sinop.

Na Figura 12 pode-se ver a imagem que mostra o trajeto aproximado da LT Coxipó-Sinop e as regiões cobertas pelos sensores caso eles sejam instalados em Coxipó e Jaurú.

A região vermelha corresponde à interseção das áreas de cobertura dos dois sensores, sendo possível fazer a triangulação dos dados e obter a localização da descarga com maior precisão.

A região azul é coberta por apenas um sensor, que fornecerá a distância da descarga com base nas características de uma descarga típica e, portanto, com baixa resolução. Observa-se que a região de alta resolução cobre um pouco mais da metade da LT (cerca de 60%). O restante da LT fica coberto apenas pelo sensor de Coxipó.

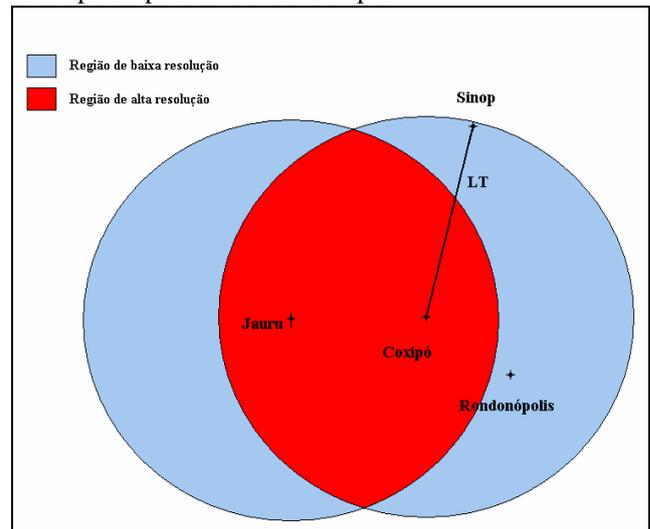


Figura 12 - Área de atuação dos sensores em Coxipó e Jauru (alcance de 450 km)

Considerando o mesmo alcance máximo para os sensores e que os mesmos são instalados em Coxipó e Rondonópolis, obtêm-se as áreas de cobertura mostradas na Figura 13. Observa-se nesta figura que a área de alta resolução cobre um trecho um pouco maior da LT (cerca de 70%) e o restante da LT fica coberto apenas pelo sensor de Coxipó. Observa-se que a região de alta resolução cobre também uma região a leste de Rondonópolis, onde também existem LTs a serem monitoradas, o que não acontece no caso anterior (sensores em Coxipó e Jauru).

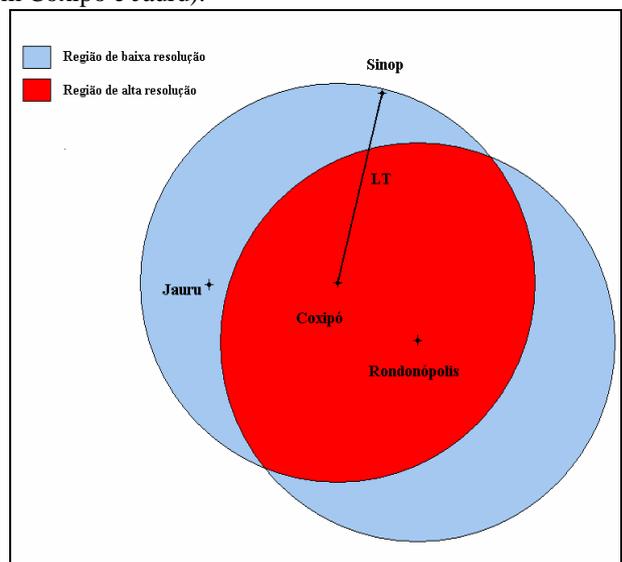


Figura 13 - Detalhe Áreas de cobertura para sensores em Coxipó e Rondonópolis (alcance de 450 km)

Considerando as regiões de interesse para monitoração de descargas atmosféricas com maior resolução na sua localização e as variações inerentes das áreas de cobertura dos sensores, a instalação dos sensores em Coxipó e Rondonópolis fornece uma cobertura melhor do que em Coxipó e Jaurú.

Cabe ressaltar que a comunicação entre os sensores e o servidor do sistema de monitoramento é feita através de rede Internet, tornando o ponto de instalação dos sensores algo fácil de ser alterado no futuro.

A Figura 14 mostra no mapa a localização da instalação dos sensores e os raios de atuação para detecção das descargas atmosféricas utilizando o protótipo intitulado SigSensoriamento.

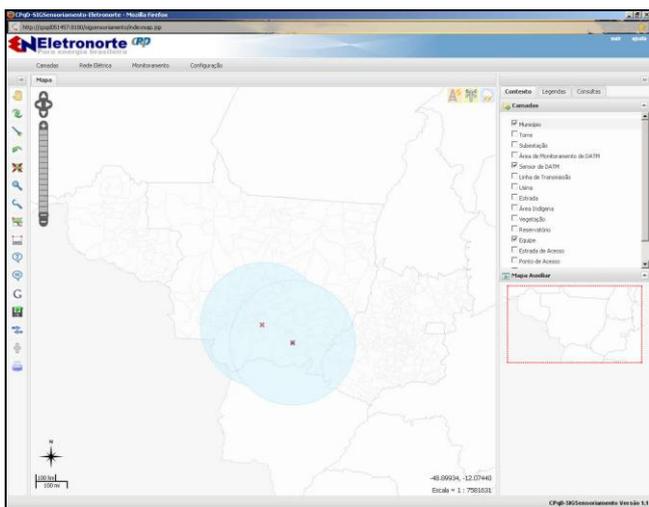


Figura 14 - Área de atuação dos sensores StormTracker

A Figura 15 mostra os detalhes da instalação do Boltek StormTracker em Rondonópolis. Foi necessário fixar a antena do sensor no alto de uma estrutura externa do prédio para evitar interferências.



Figura 15 - Instalação do sensor StormTracker em Rondonópolis

Na Figura 16, pode-se ver a instalação do sensor StormTracker em Coxipó, no telhado da sede. Nota-se na figura que há uma imagem de satélite que foi utilizada como referência para definir o posicionamento da antena do sensor.



Figura 16 - Instalação do sensor StormTracker em Coxipó

III. RESULTADOS ALCANÇADOS

Nesta seção apresentaremos os resultados obtidos com o desenvolvimento e operação do protótipo de monitoramento da rede elétrica de transmissão [4] pelo período de 15 meses. Os sensores e a instalação de campo se mostraram adequados, pois não houve falha dos sistemas de alimentação, ou transmissão e os registros de dados no sistema SIG deram-se com apenas pequenas interrupções, programas para atualização e correção de código.

A arquitetura [1] e as ferramentas empregadas na solução concebida para o presente projeto [6], [7], [8], [11], [12], ilustram uma escolha baseada em critérios, tais como: tecnologias de software livres e o uso de padrões abertos [10], [13] e [14], sem existência de custo de licenças de uso de software [9] e sem o obstáculo da integração de diferentes bases de dados, sejam alfanuméricos ou geográficos [11] e [12]. Por esse motivo, além dos requisitos funcionais, de usabilidade na interface com o usuário e atendimento de integração com interfaces externas de monitoramento, foram levadas em consideração para a definição do software as plataformas que utilizam código livre (*open source*) [6], [10], [13] e [14] com aderência aos padrões do *Open Gis Consortium* [13]. Além disso, deve-se considerar como vantagem para o usuário de sistemas de software a arquitetura do protótipo que permite o uso dos serviços *web*, pois é possível integrar diferentes fontes de dados geográficos.

A Figura 17, apresenta a arquitetura de software proposta para o protótipo que consiste de um servidor de aplicação que monitora as informações dos sensores na rede e armazena em uma base de dados centralizada. A base de dados contém as informações dos elementos da rede elétrica de transmissão como: usina, subestação, linha, torre entre outras informações que, correlacionadas com as informações de referência dos sensores, podem gerar alarmes indicativos de anormalidades na rede, sinalizando possíveis ocorrências de evento de falta.

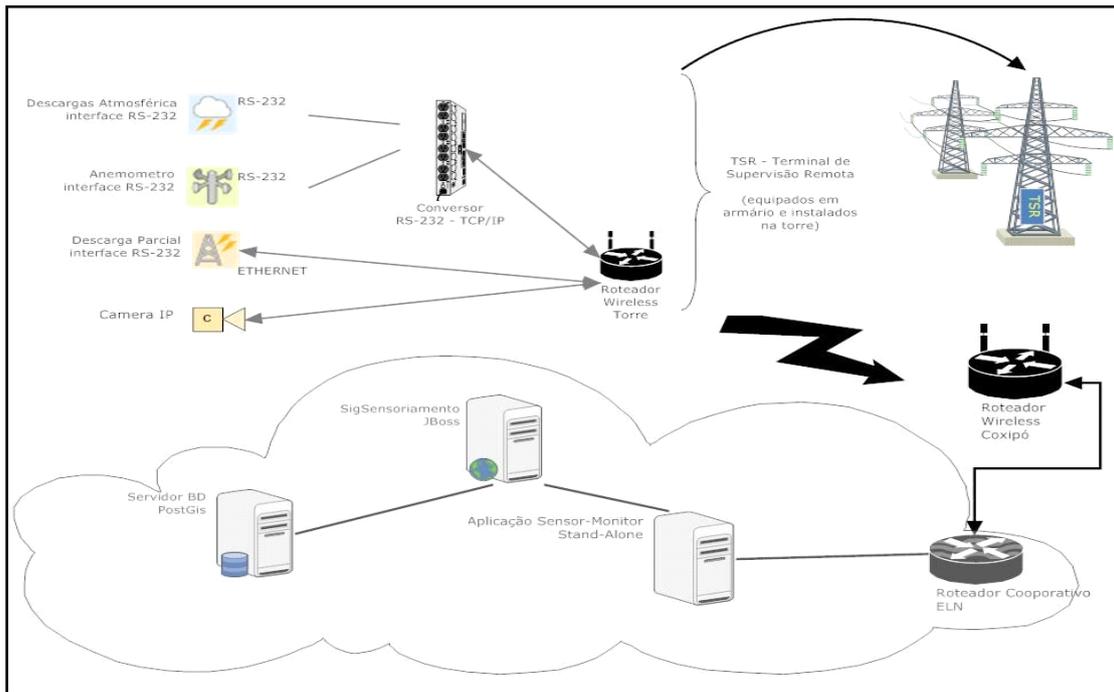


Figura 17 - Arquitetura da solução.

A Figura 18, apresenta a arquitetura de rede da solução detalhando a composição dos TSRs. Os sensores instalados na estrutura da torre comunicam-se com o roteador que concentra as informações e as transmite para a subestação mais próxima. Todo o conjunto é alimentado por painel de células solares (PV).

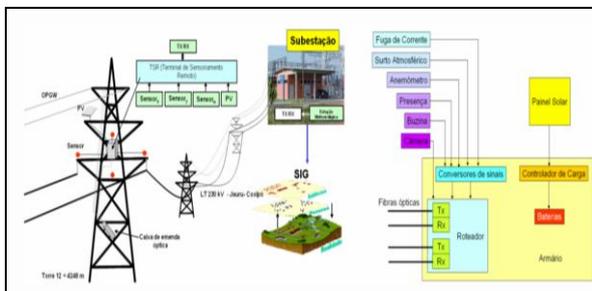


Figura 18 - Topologia do projeto piloto na linha de transmissão

Na subestação todas as informações coletadas são integradas ao SIG e disponibilizadas para os usuários através de uma aplicação web. A integração do SIG com a unidade de sensoriamento remoto permite a identificação da localização dos principais fatores de degradação dos elementos da linha de transmissão. Isso contribui substancialmente para melhorar os aspectos de confiabilidade da linha de transmissão e auxilia os procedimentos de manutenções emergenciais e preventivas.

Um dos principais resultados é uma ferramenta SIG baseada em código aberto, Figura 19, contendo as seguintes funcionalidades: (1) ferramenta de auxílio a navegação no mapa (zoom in, zoom out, Pan, zoom total, régua, *point and click*, salvar, imprimir entre outras); (2) área de mapa onde são exibidas as informações espaciais selecionadas no menu de camadas - uma vez selecionado a camada e um elemento nesta área o sistema apresenta algumas informações básicas

do elemento selecionado; (3) menu de camadas - uma camada habilitada mostra graficamente os elementos geográficos associados a ela, se sobrepondo a outras camadas abaixo dela para compor o mapa. Uma camada desabilitada simplesmente não é mostrada, embora esteja acessível para ser habilitada a qualquer momento; (4) mapa de contexto que auxilia na navegação.

Adicionalmente o SIG permite também: adição de documentos complementares; integração de dados exportados com softwares *desktops* como Google™ Earth (KML), *User-friendly Desktop Internet GIS* - u-Dig [8], Quantum GIS [7], ou gvSIG [5] (SHP); extração de dados de cadastro e mapas para carga em PDAs e *notebooks* com consulta em modo off-line; chamada do Google™ Maps na mesma localização e escala de zoom da coordenada de consulta exibida no SIG [4].

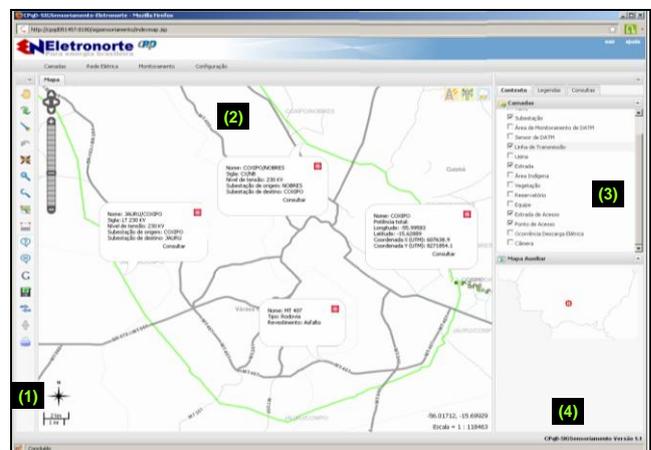


Figura 19 - Protótipo do SigSensoriamento

Nos testes do SIG foram carregados dados de linhas de transmissão e torres, com suas respectivas coordenadas geo-

gráficas. O resultado da carga de mais de 3.000 Torres pode ser visto nas próximas imagens, Figura 20 e Figura 21.

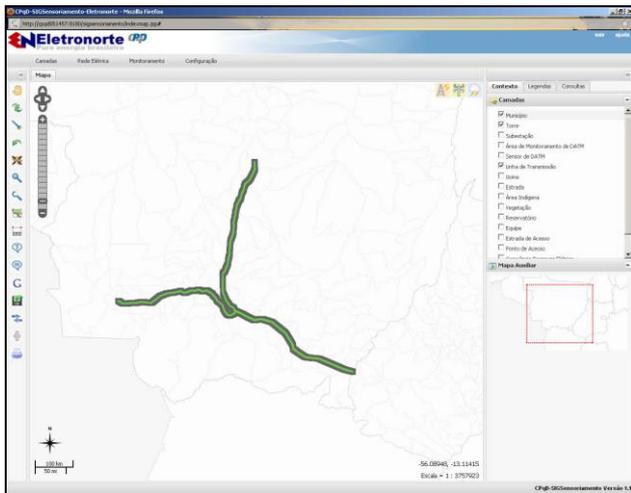


Figura 20 - Linhas de transmissão e Torres

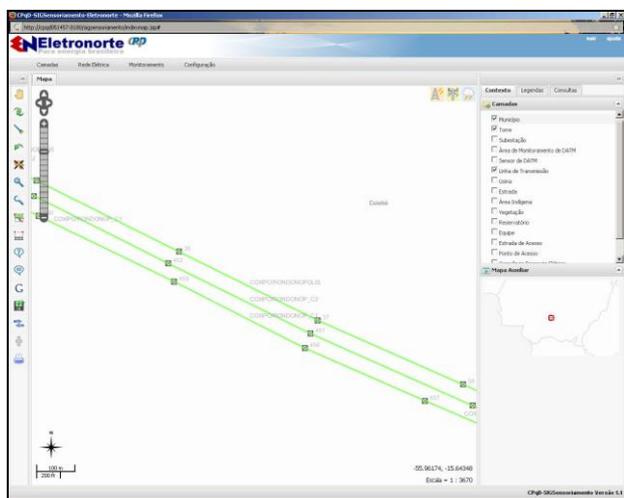


Figura 21 - Detalhe das linhas de transmissão Coxipó/Rondonópolis

Os sensores de movimento instalados no TSR2 transmitem imagens na ocorrência de movimento na torre 26 da linha Coxipó-Rondonópolis, ou próximo a ela. As imagens são enviadas por e-mail para uma conta especificada no sistema.

A Figura 22 apresenta, além da foto do sensor de presença, exemplo de imagens transmitidas com o acionamento da câmera. Nota-se que os sensores dispararam tanto com a presença de pássaros na estrutura da torre quanto com a presença de uma pessoa em pé na base da torre.



Figura 22 - Imagens do sensor de movimento

A Figura 23 mostra um animal na base do poste de sustentação dos painéis solares, ao lado da torre de transmissão.



Figura 23 - Sensor de movimento detectando animal no chão

Outros resultados importantes foram obtidos em relação à adequação de utilização do tipo de sensores comerciais selecionados, por exemplo a necessidade de inserção de blindagem na antena do sensor de descargas atmosféricas (Boltek 250), para certificação de que a influência eletromagnética não interfere na coleta de informações de ocorrências de descargas atmosférica.

A localização das descargas atmosféricas no protótipo teve sua precisão melhorada com o uso do Boltek StormTracker, sem aumento expressivo de custos.

Pelo princípio de funcionamento do Boltek LD-250 estimou-se que o sensor apresenta boa precisão na coordenada azimutal, mas pouca precisão na coordenada radial. Esta característica foi posteriormente confirmada nos testes realizados em laboratório, sob condições controladas. Visando melhorar a precisão da localização da descarga atmosférica foi aventada a possibilidade de utilizar dois detectores, de forma a se basear nas coordenadas azimutais dos mesmos para localizar a descarga. Esta localização pode ser feita através da técnica da triangulação, a partir da localização dos detectores e dos respectivos ângulos azimutais em relação à descarga atmosférica.

Para que a aplicação desta técnica seja viabilizada, é necessário que a informação da coordenada azimutal fornecida pelo sensor seja acompanhada do tempo relativo ao seu registro. Isto ocorre porque durante uma tempestade ocorrem inúmeras descargas em um curto período de tempo, de forma

que sem a informação do tempo de registro fica impossível correlacionar as informações dos dois detectores. O Boltek LD-250 não fornece o tempo de registro da descarga. A entrada para GPS existente no gabinete se presta a obter a orientação espacial da antena, a qual é necessária apenas quando o detector é instalado em um veículo.

O detector Boltek Storm Tracker é semelhante ao LD-250 e fornece a informação de tempo de registro, necessária para a utilização de dois sensores simultaneamente.

O sistema de detecção de descargas atmosféricas Boltek Storm Tracker, consiste de uma antena goniométrica ativa que envia sinais para uma placa PCI instalada em um computador. As magnitudes destes sinais são proporcionais à intensidade das descargas atmosféricas e inversamente proporcionais à distância da descarga. O azimute da descarga é determinado com relativa precisão, a partir dos sinais dos dois componentes em quadratura que compõem a antena

goniométrica. No entanto, a posição da descarga é estimada com base em uma descarga típica, cuja intensidade é assumida pelo sensor para determinar a sua posição. Com este método, uma descarga mais intensa do que a descarga típica será considerada, pelo sensor, como mais próxima do que ela realmente está e, da mesma maneira, uma descarga menos intensa do que a descarga típica será considerada, pelo sensor, como mais distante do que ela realmente está. Esta é uma característica intrínseca deste tipo de sensor.

No entanto, a utilização de dois sensores pode aumentar consideravelmente a precisão da localização das descargas. Para tal, despreza-se a informação imprecisa da amplitude do sinal e trabalha-se com a informação do azimute. Através de cálculos trigonométricos, é possível localizar a descarga utilizando os ângulos registrados por dois sensores.

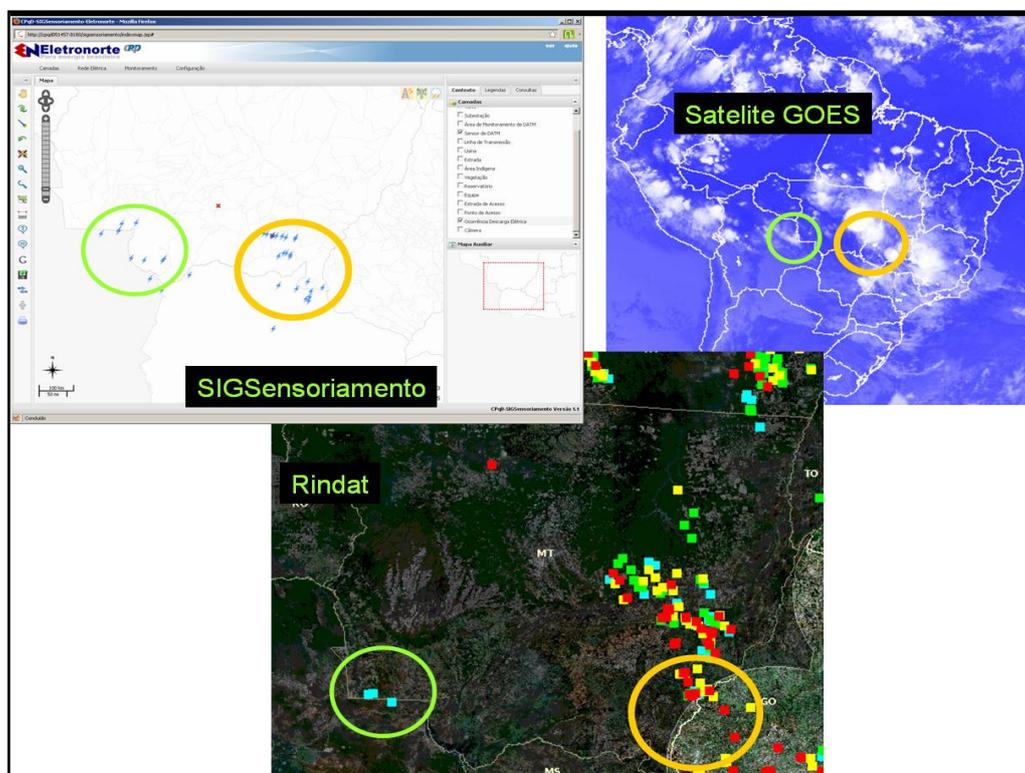


Figura 24 - Sensor descarga atmosférica.

Após um período de coleta de dados as ocorrências registradas na base foram confrontadas com dados de um sistema tradicional de localização de descargas atmosféricas, para validar a aderência da solução proposta, conforme Figura 24. Com base nas descargas atmosféricas fornecidas pelo RINDAT [15] e a movimentação de uma frente fria, visualizada através imagens do Satélite GOES. Na área de atuação dos sensores do protótipo, os resultados iniciais coletados apresentam descargas em áreas que coincidem com as indicadas pelo RINDAT, o que endossa a viabilidade da solução, ademais, é necessário um maior tempo de avaliação para concluirmos a eficácia da utilização dos equipamentos de detecção de descargas atmosféricas.

Os sensores de descargas atmosféricas, utilizados no pro-

jeto, representam aproximadamente 10% do custo dos sensores tradicionalmente utilizados no mercado, o que significa uma redução de custo para implantação desse tipo de monitoramento em linhas de transmissão.

Outro resultado de uso de sensores foi o uso do anemômetro, que não apresentou falhas de exposição ao tempo e tampouco de interrupção da transmissão de sinais. O anemômetro Weather Wizard III – Davis se mostrou muito eficaz quanto ao monitoramento de vento e temperatura. É um sensor que possui baixo custo e pode ser replicado em toda a rede ou em pontos críticos para análise dos dados.

Em relação ao monitoramento de corrente de fuga, o sensor foi adaptado para aplicação no protótipo a fim de transmitir sinal digital na rede de monitoramento, em vez do sinal

análogo. Embora não se tenha obtido um vasto volume de dados de passagem de corrente, dada a excelente condição da cadeia de isoladores onde foi instalado, monitorou-se a transmissão e o registro de fuga de corrente mediante situações simuladas, o que ocorreu sem transtornos em diferentes datas sinalizando a integridade do equipamento sensor instalado em campo. Portanto, o sensor de corrente de fuga se mostrou muito versátil e uma ótima solução em áreas de difícil acesso.

Embora não tenha sido viável fazer uso da rede de fibras ópticas da rede de transmissão de energia elétrica para os testes de campo, tendo em vista comprovar o funcionamento da transmissão dos dados do sistema de sensoriamento através do meio de transmissão em fibra óptica, foi montado um arranjo experimental em laboratório, Figura 25, com este fim. Para tanto, foram utilizados equipamentos e dispositivos já existentes no laboratório de sensoriamento óptico do CPqD.

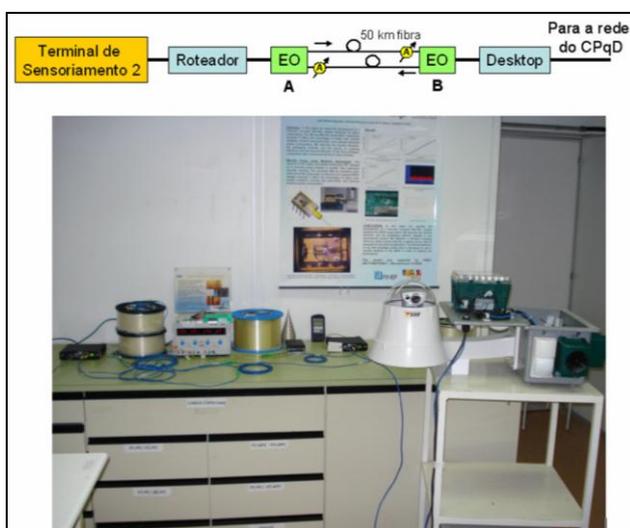


Figura 25 - Testes laboratórios CPqD

A experiência consistiu em converter o sinal ethernet da saída da câmera de vídeo (TSR2) para sinal óptico, através da passagem por um roteador e conversor ethernet-óptico. O sinal de saída do conversor segue para uma um carretel de fibra óptica padrão (STM-28) de 50 km de comprimento. Do outro lado do enlace de fibra óptica o sinal é levado a um conversor óptico-ethernet. O sinal, então novamente no domínio elétrico, segue para um computador conectado a rede do CPqD. Na prática foram utilizados dois carretéis de fibra óptica de 50 km para fazer a conexão entre os dois conversores eletro-ópticos. Foram utilizados também atenuadores ópticos de forma que o enlace seja estressado até o limite de seu funcionamento. Os resultados obtidos mostraram que a plataforma de sensoriamento (TSR2), bem como sua integração com o SIG através de fibras ópticas, estão aptos a serem instalados para teste de campo na torre de transmissão.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma solução desenvolvida pelo CPqD, em parceria com a Eletronorte, de sistema de infor-

mações geográficas (SIG) integrado ao monitoramento por sensores remotos, para atender à necessidade de identificação dos principais fatores de degradação dos elementos que compõem a linha de transmissão.

Os sensores comerciais escolhidos apresentaram condições de uso em campo e efetiva monitoração e transmissão de informações na rede de energia elétrica.

O protótipo apresentado possui ainda algumas características que merecem destaque e que contribuíram para um bom resultado final, como, por exemplo, a possibilidade dos usuários acessarem a ferramenta de qualquer dispositivo conectado a Internet, visto que a arquitetura do sistema é WEB, facilitando assim a consulta de informações em tempo real.

Além disso, os sensores utilizados se mostraram eficientes e poderão ser replicados e instalados em toda a rede ou até mesmo em novas áreas de atuação da empresa ou do mercado, devido a seu baixo custo.

A transmissão de dados através da fibra óptica possibilita interligar áreas distantes das sedes e subestações das empresas de transmissão de energia elétrica, com uso da fibra instalada no sistema (OPGW), possibilitando o monitoramento remoto contínuo das áreas de difícil acesso.

Este projeto exemplifica a importância do trabalho integrado de equipes multidisciplinares atuando de forma complementar e colaborativa.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PD.33.10.74A.0004A-DA01-AA – Documento de Arquitetura geral SigSensoriamento, Fundação CPqD, Campinas 25/09/2008.
- [2] PD.33.11.17A.0030A-RT10-AD – Consultoria e Suporte para instalação de equipamentos de sensoriamento remoto em linhas de transmissão em alta tensão de energia elétrica.
- [3] N.C. Góis, J. A. D. Rossi, F.E. Nallin, J. A. Petrachin, J.M.G. Angelini, “Aplicação de sensor para monitoramento de degradação de isoladores poliméricos de EPDM na Coelba”, XIX SNPTEE, Rio de Janeiro, 2007.
- [4] R. S. Penze, M. E. Freitas, J. B. Rosolem, C. Floridia, L.T. Li, R. B. Romano, C. F. Barbosa, F. E. Nallin, J. A. D Rossi, D. Almeida, “Sistema de cadastro Georreferenciado com Sensoriamento Remoto de Linhas de Transmissão” XX SNPTEE, Recife-Pe, 2009.
- [5] gvSIG - Conselleria d'Infraestructures i Transport - <http://www.gvsig.gva.es/>
- [6] Geoserver, The Open Planning Project <http://www.openplans.org> - <http://geoserver.org/>
- [7] Quantum GIS - QGIS - Gary Sherman gsher-man@sourceforge.net - <http://www.qgis.org/>
- [8] uDig - User-friendly Desktop Internet GIS - Refractions Research - <http://udig.refrations.net/>
- [9] Licença GPL (General Public License). - versão 2.0, disponível em <http://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.html> - Versão 3, disponível em <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>
- [10] Openlayers, Metacarta Labs - disponível em <http://www.openlayers.org/>
- [11] PostgreSQL - Refractions Research Inc - www.postgresql.org - licença BSD (Berkley Software Distribution) - <http://www.postgresql.org/about/licence>.
- [12] PostGIS adds spatial database capabilities to PostgreSQL - <http://postgis.refrations.net>.
- [13] Arquitetura OpenGIS® Baseada em Software Livre para Solução de Geoprocessamento <http://www.opengeo.com.br/download/opengis-sbc-v13-06102005.pdf>.
- [14] Fundação Free Software - www.fsf.org - Projeto GNU - www.gnu.org
- [15] RINDAT – Rede integrada nacional de detecção de descargas atmosféricas - www.rindat.com.br.