

Monitoramento de Cabos Subterrâneos de Alta Tensão Utilizando Comunicação por Telefonia Celular

Grimoni, José A. B., PEA-EPUSP e IEE/USP; Silva, Humberto A. P., IEE/USP;
Garcia, Douglas A. de A., IEE/USP; Duarte, A. C., CTEEP.

Abstract-- Este trabalho apresenta o projeto de um sistema de monitoramento de cabos subterrâneos de Alta Tensão utilizando comunicação, para transmissão de dados, baseada em telefonia celular. Este sistema subterrâneo interliga as Subestações Anhanguera e a Centro da CTEEP (Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista) dentro da região metropolitana de São Paulo. A linha, ao longo da qual, os pontos de acessos estão distribuídos tem comprimento total de 9,75 km. Esta linha contém dois circuitos trifásicos com cabos monopolares refrigerados a óleo fluido. O comprimento total dos cabos é de 58,5 km com 33 lances, e distância média entre lances de 295 m. Esta linha utiliza o sistema de cross-bonding. O cabo tem 1200 mm² e a tensão de operação do cabo é de 230 kV cuja potência nominal dos circuitos é de 300 MVA, o que totaliza 600 MVA.

Palavras Chave - Cabos Subterrâneos, Monitoramento, Carregamento, Telefonia Celular.

I INTRODUÇÃO

O Sistema de Monitoramento de Cabos proposto permitirá ao centro de manutenção da CTEEP do Limão:

- Monitoramento de temperatura do cabo;
- Detecção de falhas e defeitos no cabo;
- Monitoramento do sistema de resfriamento a óleo;
- Monitoramento das perdas nas blindagens;
- Monitoramento da situação de carregamento do cabo;
- Detecção de invasão nas caixas;
- Detecção de alagamento nas caixas;

Para futuras etapas, novas implementações de hardware e software também permitirão:

- Análise da taxa de crescimento da temperatura por ponto monitorado;
 - Levantamento do perfil de temperatura nas camadas do cabo e na sua trajetória;
 - Detecção de descargas parciais nos cabos e acessórios;
 - Detecção de penetração de umidade no cabo.

Um dos principais benefícios que o sistema agrega é o de uma utilização otimizada da instalação. Além disso, propicia

uma ferramenta para realizar intervenção de manutenções mais eficazes e rápidas quando algum alarme de monitoramento de alguma variável for acionado. Quando o sistema tiver uma operabilidade total poderá inclusive migrar de manutenções preventivas para preditivas.

II O SISTEMA PROPOSTO

O Sistema de Monitoramento de Cabos Subterrâneos do Tipo OF, para a linha da CTEEP de 230kV (LTS CTT-CTR 2313-2314), cujo circuito vai da SE Anhanguera até a SE Centro na cidade de São Paulo está, até o momento, composto pelos seguintes módulos:

- Sensores instalados nas localidades piloto;
- Coleta de dados;
- Comunicação e transmissão de dados;
- Supervisão.

III SENSORES INSTALADOS E UNIDADES PILOTO DO SISTEMA

Os sensores instalados nas áreas piloto vão fornecer sinalizações de alarmes para situações de sobre-pressão e sub-pressão, de perdas excessivas na blindagem, de invasão nas caixas de acesso por pessoal não autorizado, de alagamento nas caixas, além de informar a situação de carregamento do cabo monitorado.

Inicialmente estão previstas as monitorações dos seguintes dados:

- corrente nos cabos;
- correntes nas blindagens dos cabos;
- temperatura ambiente;
- temperatura do solo;
- temperatura das emendas;
- temperatura do condutor;
- pressão do óleo;
- ausência de energia na remota;
- detecção de alagamento nos túneis;
- detecção de acesso indevido na remota e no túnel.

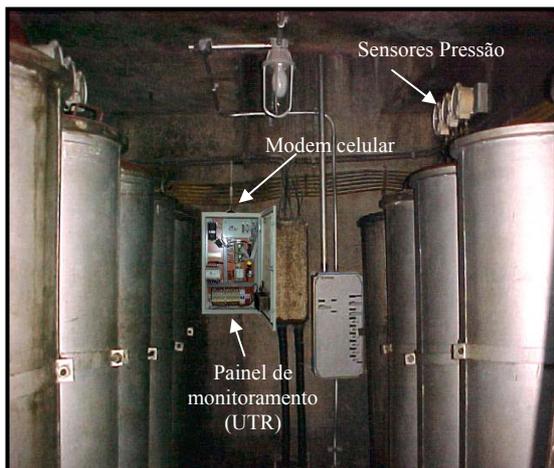


Figura 4: Cx. 31 com sensores pressão de óleo do sist. resfriamento, painel de monitoramento com módulo celular de comunicação/transmissão de dados.



Figura 6: Unidade de coleta, comunicação e transmissão de dados com condicionamento de sinal.

IV COMUNICAÇÃO E TRANSMISSÃO DE DADOS

A comunicação entre unidades de coletas de dados e o celular é feita através de uma interface que comanda o celular de acordo com seu protocolo padrão, fazendo a discagem à rede de pacotes de dados da operadora de telefonia celular móvel, estabelecendo sinal, reinicializando-o, quando da perda de sinal, para em seguida re-estabelecer o *link*.

A transmissão dos dados do sistema de monitoramento é feita usando a plataforma de tráfego de dados de telefonia que usa a tecnologia 1xRTT – 2,5G, como mostra o diagrama da figura 5.

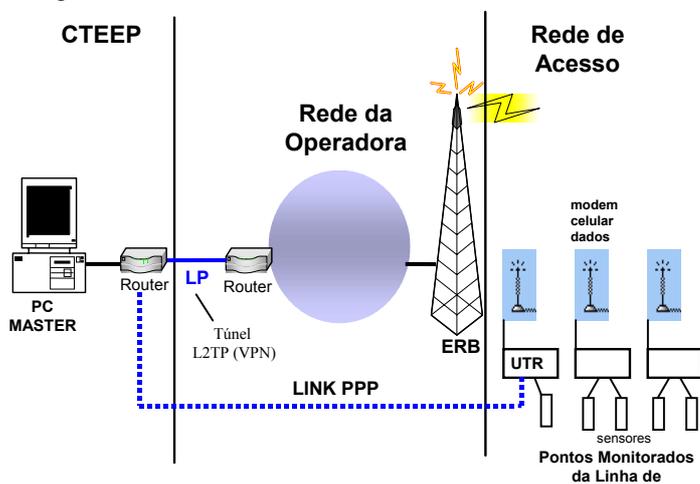


Figura 5: Diagrama do sistema de comunicação e transmissão de dados.

V COLETA DE DADOS

A coleta de dados é feita por unidades remotas que possuem entradas analógicas e digitais e característica do tipo *auto-check* através de *watch-dogs*. Os sinais enviados pelos sensores instalados nos cabos e nas caixas, recebem um tratamento através de condicionadores para adequar seus níveis de sinais aos das entradas da remota (ex.: 4-20mA para 0-10V), propiciar isolamento óptica e proteção a sobre-tensões. A figura 6 mostra um painel de monitoramento.

VI SUPERVISÃO

O módulo de supervisão está instalado na máquina *master* configurada com sistema operacional Windows 2000 NT Server e gerenciador de dados MS SQL Server 2000. Este PC *master*, por sua vez, deve estar conectado em rede a um roteador, com software *Radius*, que possibilita autenticação, atribuição de endereços IP's e tunelamento para o serviço de VPN, através de uma linha privada LP (o *router* e a LP garantem segurança de acesso utilizando criptografia), da provedora de acesso utilizando o pacote de tráfego de dados por telefonia móvel celular.

O aplicativo de supervisão está preparado para receber os dados das remotas conectadas aos celulares de dados instalados em campo, nas caixas de acesso ao cabo subterrâneo, através da rede aérea de telefonia celular. A interface do supervisor, como mostra a figura 7, possibilita visualizar os alarmes em tempo real, e histórico recente, auxiliando a identificação imediata dos defeitos, o reconhecimento dos mesmos, e tomada de decisão por parte do usuário para que as devidas ações corretivas e o re-estabelecimento da situação de normalidade seja alcançada.

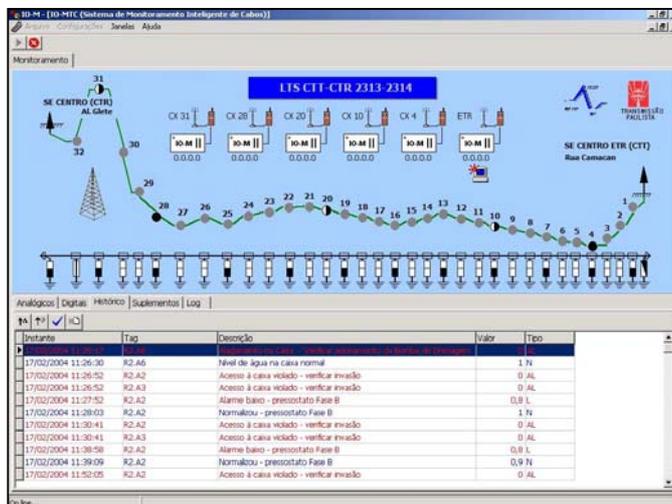


Figura 7: Supervisor com a tela do histórico dos alarmes.

Através da função configuração do menu de opções é feita a configuração das remotas e a parametrização das grandezas monitoradas quanto as suas escalas, níveis de disparo de alarmes, níveis de disparo para identificação de falha funcional dos sensores e/ou dos hardwares do sistema, atribuição dos *plugins* para o cálculo do carregamento, etc.

VII BIBLIOTECA DE CARREGAMENTO

Utilizando-se os procedimentos das principais normas para modelos de simulação térmica do comportamento de cabos subterrâneos, foi implementado um algoritmo em forma de *plugin*, para ser usado pelo aplicativo de supervisão (vide Figuras 8 e 9) o qual, por sua vez, indica as condições de carregamento por seção, ou trecho do condutor.

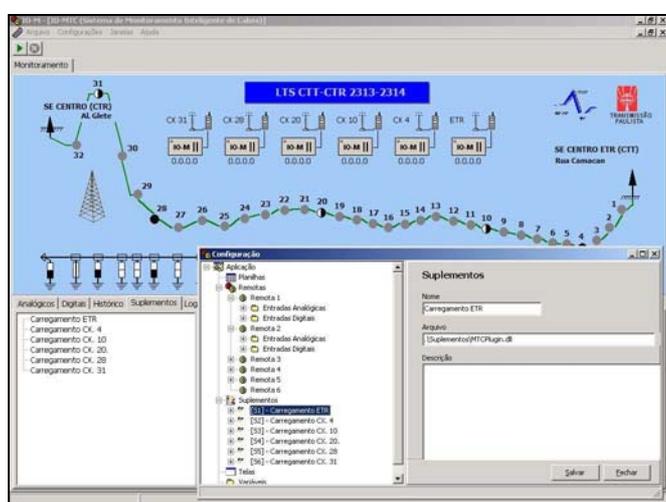


Figura 8: Supervisório com *Plugin* da biblioteca de cálculo para carregamento.

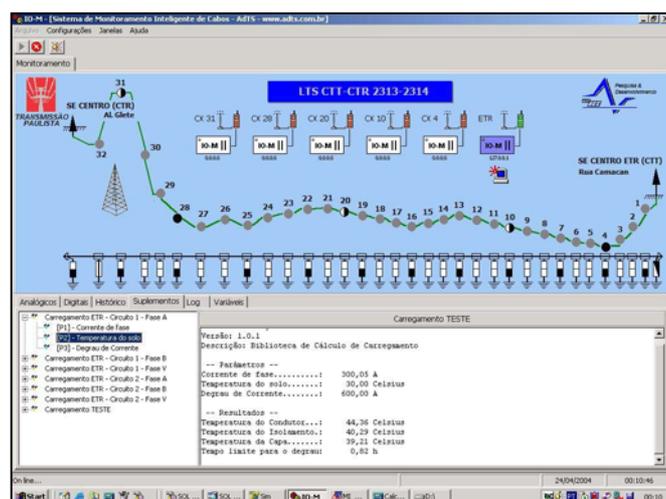


Figura 9: Supervisório com interface para indicação da situação de carregamento do cabo por trecho monitorado.

O modelo térmico [1], [2], [3], [4] e [5] do cabo considera as fontes de calor (condutor, dielétrico e a capa de chumbo), as resistências térmicas e as capacitâncias térmicas. O modelo calcula as temperaturas do condutor, do isolamento e da capa

a partir da medição em tempo real da corrente do cabo e da temperatura do solo. Desta maneira é possível acompanhar *on-line* o comportamento térmico do cabo.

Foi implementada também uma função que permite estimar qual a corrente de carga que se pode aplicar no cabo para um determinado período em horas de sobrecarga. Desta maneira é possível sobrecarregar o cabo em alguma situação de emergência por um determinado período de forma segura em exceder sua temperatura limite.

VIII MONITORAMENTO

Para o monitoramento do sistema, duas ferramentas foram implementadas. Uma delas é o MI_Monitor que permite a visualização histórica das informações enviadas ao banco de dados pelo Supervisório. A pesquisa histórica na base de dados pode ser feita através de consultas a distintas tabelas com dados agrupados em médias diárias, semanais e mensais. Exemplos da interface do visualizador MI_Monitor pode ser visto na Figura 10.

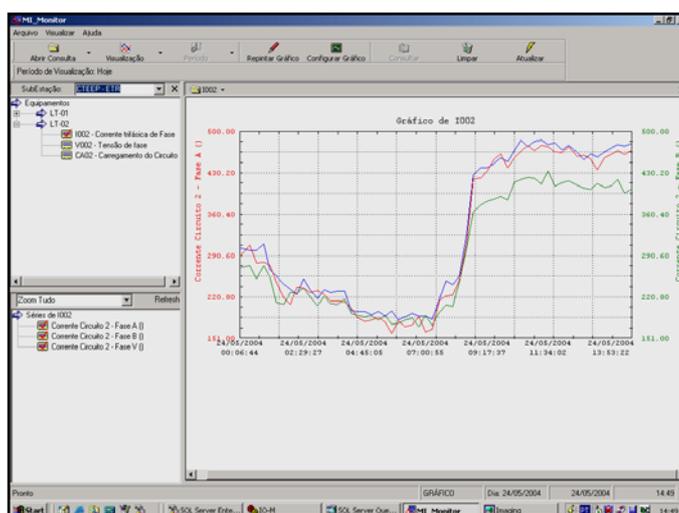


Figura 10: Visualizador MI_Monitor. Tela de dados históricos das correntes.

Possibilita a análise das grandezas monitoradas através de curvas de tendências. Um módulo de cálculo ativo continuamente é responsável por processar estes dados e sinalizar os alertas quando aos níveis alto, alto-alto, baixo e baixo-baixo, tem seus níveis atingidos pela projeção das retas de tendências que utiliza a regressão linear através de algoritmos implementados.

A consulta também é possível neste aplicativo de diagnóstico por curvas de tendências, bastando selecionar, para as tabelas de médias desejadas (diárias, semanal e mensal) o número de amostras para o cálculo da regressão e o número de dias para projeção da tendência. Exemplos da interface do aplicativo de diagnóstico por tendência podem ser vistos na Figura 11.

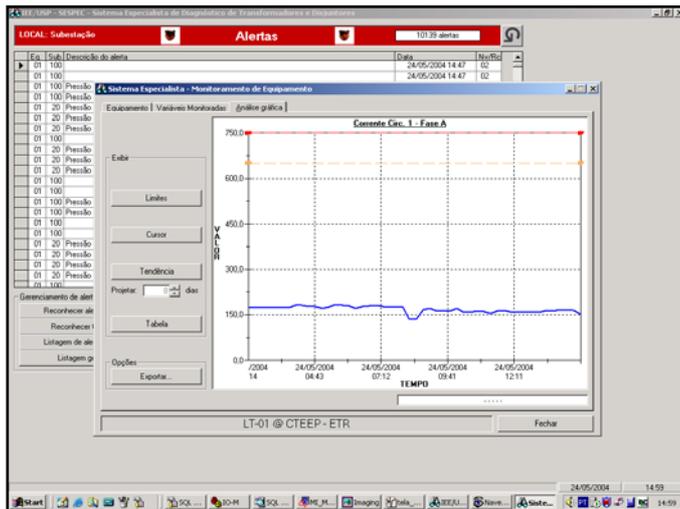


Figura 11: Tela do aplicativo de diagnóstico por tendência

IX CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de cabos que já está implantado e funcional, em uma linha de transmissão com dois circuitos que trabalha em 230 kV e 300 MVA, que utiliza tecnologia de telefonia celular no sistema de comunicação e transmissão de dados.

A transmissão por modem celular veio resolver a dificuldade de se estabelecer uma rede de comunicação adequada às condições existentes dado que a linha é muito antiga, e os meios físicos existentes (ex: par trançado de telefonia fixa) não serem confiáveis. Outros meios de comunicação sem fio, como rádio, também não se adequou por não encontrar áreas abertas sem que houvesse interrupção do sinal de transmissão e recepção.

Com a solução encontrada, se pode ter acesso às informações em tempo real, desde de qualquer ponto dentro da intranet da CTEEP e, externamente através de um *notebook* com um modem para comunicação de telefonia celular. Os resultados dos testes têm se mostrado muito bons, com uma boa disponibilidade de sinal da rede de telefonia celular, o que atende a necessidade de supervisão e de monitoramento do projeto.

As ferramentas de supervisão e de monitoramento desenvolvidas dão suporte as ações de intervenção de forma a torná-las mais eficazes, tanto para as situações de alarmes imediatos (supervisão), como na situação de alertas de tendências, as quais apontam para situações críticas projetadas no tempo (monitoramento). Neste último caso, tem-se como consequência uma ação de manutenção preditiva, deixando de ser preventiva.

X BIBLIOGRAFIA

[1] Anders, George J - Rating of Electrical Power Cables – Ampacity Computations for Transmission, Distribution, and Industrial Applications - IEEE Press - 1997 – 428 pp.

[2] Cicarelli, Liliane Dias – Estudo da Capacidade de Corrente dos Cabos Subterrâneos – Dissertação de Mestrado – EPUSP – 1991- 255 pp.

[3] Normas IEC-853 - Calculation of the Cyclic and emergency Current Rating of Cables, 1994.

[4] Normas IEC-287 - Electric Cables - Calculation of Current Rating, 1995

[5] R Bartnikas and K D Srivastava - Power and Communication Cables Theory and Applications - IEEE Press Series on Power Engineering, 2000.

XI BIOGRAFIA



José Aquiles Baesso Grimoni was born in Lorena, São Paulo, Brasil, on March 5, 1958. He graduated from Escola Politécnica da USP, São Paulo in 1980 and received MSC and PHD degrees in electrical engineering from Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brazil in 1988 and 1994

His employment experience included the ASEA, CESP- a Brazilian Utility Company, BBC and ABB. His special field of interest included applications of intelligent systems on power systems problems.

Since 1989 he is an assistant teacher at Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elébricas – PEA da Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brazil.



Humberto A. P. Silva was born in Florai-Paraná, Brazil, on September 22, 1964. He graduated from the USJT, São Paulo, in 1989, as an electrical engineer, and at the moment is doing his MSc. at the University of São Paulo (USP).

His employment experience after graduation until 1999 included the power utility Energiebedrijf Ijsselmij, Zwolle, Holland, Danica Supply, Odense, Denmark, NeSA-Nederland Survey Projecten en Apparaat, Rotterdam, Holland, Swiss Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland. At present

he is employed as a research engineer by the Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, Brazil, which main activities are related to R&D programs in the area of substations strategic equipment monitoring and diagnostics. Areas of interest: Power Equipment Monitoring, Intelligent Equipment and Instrumentation, System Integration and Energy Efficiency Technology. Since 1999 his working as a researcher and R&D project manager at the Electrical and Energy Institute of the University of São Paulo, Brazil.



MsC. Douglas Alexandre de Andrade Garcia was born in Fartura/SP-Brazil, on June 4th, 1970. He graduated from the Sao Carlos Engineering School of Sao Paulo University-Brazil in 1992.

His employment experience includes the Institute of Electrical and Energy of Sao Paulo University, Sao Paulo/Brazil, since 1993. His special fields of interest included electronic instrumentation and sensors applied in power systems.

Garcia received the MSc. degree from Polytechnic School of Sao Paulo University, Brazil, in 2000 and he is currently coursing the PhD. Program in the same entity.

He acts in research programs and has published articles in his area of interest in national and international magazines and congresses. He also teaches Electronic, Electricity and Electromagnetism at Faap Engineering College.

Agostinho Cunha Duarte, nascido em Vizeu, Portugal em 10 de março de 1954, formado em Engenharia Elétrica, na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas. Trabalhei Light Eletricidade de São Paulo, Eletropaulo Eletricidade de São Paulo, Empresa Paulista de Transmissão de Energia Elétrica e Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista. As áreas de atuação são a manutenção de linhas de transmissão aéreas e subterrâneas de 88 a 345kV.