



**XXIII SNTPEE
SEMÍNÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GLT/22
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

GEORREFERENCIAMENTO DAS ESTRUTURAS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO DA CEEE-GT E GERAÇÃO DE MAPAS GEOGRÁFICOS

Leandro Henrique Bona Puchale(*)
CEEE-GT

Gilnei Gonçalves Furtado
UFRGS

Guilherme Rosa Balestrin
CEEE-GT

RESUMO

As informações tradicionais de cadastro dos ativos e do gerenciamento de manutenção, associadas a um Sistema Informações Geográficas (GIS), podem proporcionar ganhos significativos na eficiência e na otimização das atividades relacionadas às LTs. Este artigo apresenta o trabalho de georreferenciamento de estruturas das linhas de transmissão (LTs) da Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT), e o resultado da integração da base de dados corporativos de Gestão da Manutenção com o Sistema Informações Geográficas, através do desenvolvimento do mapa dos traçados das LTs, bem como o mapa de manutenção (ordens de serviço).

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de Transmissão, Georreferenciamento, Sistemas de Informação Geográfica (GIS), Sistemas de Posicionamento Global (GPS), Gestão de ativos.

1.0 - INTRODUÇÃO

A informação geográfica é um dado importante quando se trata de um sistema elétrico, principalmente no que se refere a Linhas de Transmissão (LTs), considerando que os ativos desse sistema estão distribuídos no contexto espacial. Informações de traçado da LT e localização de estruturas são constantemente utilizadas por diversas áreas da empresa, desde o planejamento de atividades de manutenção - pelas equipes de campo - até as áreas de engenharia de manutenção ou projeto, ambiental e fundiária.

Visando obter a informação geoespacial dos ativos, a CEEE-GT tem utilizado a tecnologia GPS (*Global Positioning System*) desde 2008, quando iniciou os trabalhos de georreferenciamento das estruturas do sistema de transmissão.

Os Sistemas de Informações Geográficas (GIS), por sua vez, são conjuntos de programas e procedimentos computacionais que permitem a análise, integração espacial, gestão e representação do espaço geográfico e dos fenômenos que nele ocorrem, organizadas numa base de dados espaciais (1) (BLASCHKE; KUX, 2009). Atualmente, os sistemas GIS apresentam uma crescente gama de aplicações nas mais diversas áreas (agricultura, saúde, meio ambiente, etc.), devido aos ganhos de eficiência e interatividade quando são correlacionados os dados específicos num contexto espacial.

Nesse contexto, a partir do dado de georreferenciamento, associado ao desenvolvimento de ferramentas de programação, foi possível integrar a base de dados de LTs do sistema corporativo ao Sistema GIS. Essa integração consiste na visualização de dados relativos ao traçado das LTs, características das estruturas (torres) e informações dos serviços de manutenção, diretamente na plataforma GIS.

(*) Joaquim Porto Villanova, n° 201 – Prédio F, sala 205 – CEP 91.410-400 - Porto Alegre, RS – Brasil
Tel: (+55 51) 3382-4979 – Fax: (+55 51) 3382-4395 – Email: leandrop@ceee.com.br

2.0 - MANUTENÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO NA CEEE-GT

A CEEE-GT possui aproximadamente 6.000 km de LTs localizadas no estado do Rio Grande do Sul, sustentadas por aproximadamente 15.000 estruturas nos níveis de tensão de 69, 138 e 230 kV, dos quais são sistematicamente mantidos por sete equipes estrategicamente localizadas, conforme o plano estabelecido para cada ativo (estrutura).

O plano de manutenção de LTs consiste basicamente em atividades preventivas (inspeções terrestres com ou sem escalada, bem como inspeções aéreas) com periodicidade pré-definida, além das atividades de manutenção corretiva das anomalias identificadas, conforme o seu nível de criticidade.

As anomalias (defeitos) encontrados na inspeção caracterizam-se por apresentar um elevado grau de padronização, sendo que esse universo compreende aproximadamente 150 tipos de ocorrências distintas e que podem ser encontradas nos principais componentes de uma LT – estrutura, isolador, condutor, etc. – cuja prioridade e prazo de correção são pré-definidos no *software* de gerenciamento pela Engenharia de Manutenção de LTs.

Toda a atividade de inspeção, identificação de defeito e a respectiva correção ocorre através do registro das Ordens de Serviços (OSs) no SIGOM (Sistema Integrado de Gestão da Operação e Manutenção), *software* de gerenciamento da função manutenção utilizado pela CEEE-GT.

3.0 - SISTEMA DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE

O *Global Navigation Satellite System* (GNSS) ou Sistema Global de Navegação por Satélite é o termo usado para sistemas de localização, utilizando-se das posições de satélites em órbitas. Existem hoje, quatro sistemas que estão inseridos no contexto de navegação global: o *Glonass* (Sistema Russo), o *Galileo* (Sistema Europeu), o *Compass* (Sistema Chinês) e o mais difundido *Navstar-GPS* (Sistema Americano).

GPS (*Global Positioning System*) é a abreviatura de NAVSTAR GPS (*NAVSTAR GPS-NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System*). É um sistema de radionavegação baseado em satélites, desenvolvido e controlado pelo departamento de defesa dos Estados Unidos da América (*U.S.DoD*), o qual permite a um usuário, em qualquer parte da superfície terrestre, obtenha a sua disposição no mínimo quatro satélites para serem rastreados. O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida da distância do usuário aos quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites em um sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites (2) (MONICO, 2008).

O sistema GPS está dividido em três partes: espacial, de controle e utilizador. O segmento espacial é composto pela constelação de satélites (Figura 1). O segmento de controle é formado pelas estações terrestres, dispersas pelo mundo ao longo da Zona Equatorial, responsáveis pela monitorização das órbitas dos satélites, sincronização dos relógios atômicos de bordo dos satélites e atualização dos dados de almanaque que os satélites transmitem. O segmento do utilizador consiste num receptor que capta os sinais emitidos pelos satélites. Um receptor GPS (GPSR) decodifica as transmissões do sinal de código e fase de múltiplos satélites e calcula a sua posição, com base nas distâncias entre estes. A posição é dada por latitude, longitude e altitude, coordenadas geodésicas referentes ao sistema WGS84 (*World Geodetic System* de 1984).



FIGURA 1 – Constelação de satélites GPS (fonte: <http://searchandrescue.gsfc.nasa.gov/dass/gps.html>)

Os sistemas GIS integram diversas fontes de informações geográficas: cartas topográficas, mapas temáticos, produtos obtidos através de sensoriamento remoto (imagens de satélites) e de levantamentos aerofotogramétricos, mapas em formato vetorial ou matricial, dados amostrados em campo com coleta da localização geográfica (GPS), modelos digitais de elevação, modelos espaciais, etc. (adaptado de (3) – PIMENTA, 2012). O sistema GIS portanto, integra os dados espaciais e outro tipo de informação num único sistema espacial, permitindo a análise geográfica dos dados.

4.0 - GEORREFERENCIAMENTO DAS ESTRUTURAS NA CEEE-GT

Etapas do georreferenciamento na CEEE-GT:

- Avaliação das tecnologias existentes;
- Planejamento;
- Identificação dos recursos necessários (financeiros, materiais, equipamentos, treinamento e mão de obra;
- Especificação e aquisição do equipamento GPS;
- Treinamento;
- Levantamento de campo;
- Pós-processamento;
- Auditoria dos dados levantados;
- Lançamento no banco de dados SIGOM;
- Desenvolvimento da plataforma de compatibilidade entre a ferramenta GIS e o SIGOM.

O trabalho de georreferenciamento foi iniciado a partir da definição quanto a precisão esperada para a medição dos pontos de interesse, o qual, no presente caso, representam as estruturas das Linhas de Transmissão; esta definição foi fundamental, na medida em que o custo dos aparelhos receptores GPS aumenta consideravelmente com o incremento da precisão.

Partindo-se do princípio que os perfis existentes das LTs da CEEE-GT estavam impressos em papel, apresentando margens de erro na ordem de 1,00 a 2,00 metros, optou-se por receptores que possibilitassem a aquisição de pontos cujas coordenadas apresentassem essa mesma margem de erro. Isso pôde ser obtido através do pós-processamento dos pontos adquiridos em campo, cujo erro é reduzido de valores na faixa de 5 a 6 metros para valores na faixa de 1 a 2 metros, para a grande maioria dos casos.

Outro aspecto importante na definição do instrumento receptor GPS consistiu na definição do grau de resistência a impactos, vibrações, poeira e umidade (inclusive projeção d'água), considerando tanto as características inerentes ao meio onde as estruturas das LTs estão localizadas como a sua utilização pelos inspetores de campo.

A partir da definição e especificação, foram adquiridos oito receptores GPS Trimble modelo GeoExplorer XM conforme Figura 2.



FIGURA 2 - Receptor GPS Trimble modelo GeoExplorer XM e Manuseio do receptor GPS em campo

Com a aquisição do receptor GPS, foi desenvolvida a metodologia de medição dos pontos de interesse, através do treinamento das equipes de campo, as quais estão encarregadas de realizar as inspeções preventivas programadas nas LTs, otimizando e qualificando desta forma a utilização de pessoal próprio para a realização deste serviço.

O levantamento dos pontos de interesse foi realizado simultaneamente com as inspeções preventivas programadas das LTs, envolvendo mais de 15.000 estruturas e distribuídas em mais de 6.000 km de traçados localizados no território do Estado do Rio Grande do Sul, com a duração aproximada de quatro anos (entre 2008 e 2012).

Durante este período, as medições dos pontos de interesse realizadas em campo eram transmitidas semanalmente pelas equipes de campo à área de engenharia; esta por sua vez, realizava o seu pós-processamento (correção diferencial), procedimento este que ajusta o levantamento de campo, comparando-o com as medidas obtidas em um ponto de coordenadas conhecidas (base) e avaliando os dados levantados, validando-os ou não (auditoria). O trabalho de pós-processamento é realizado através de software, adquirido juntamente com o receptor GPS; e, para a correção diferencial, foram utilizados os arquivos das bases de Porto Alegre, Santa Maria e Alegrete.

A partir da validação dos pontos de interesse, foi feita a sua importação para o banco de dados do SIGOM. Este processo também implicou em um aperfeiçoamento da estrutura deste Banco de Dados, pois, a partir dos mapas de LTs, foi possível uma redefinição da maneira como os ativos estavam estruturados: LTs, Trechos de LTs, e Estruturas, bem como uma melhor padronização desses dados.

5.0 - GERAÇÃO DE MAPAS GEOGRÁFICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Os mapas geográficos de LTs consistem basicamente da visualização, através de uma ferramenta GIS, dos traçados das LTs, da posição das estruturas ao longo da LT com suas características, bem como a visualização das Ordens de Serviço de manutenção, com seus diferentes status.

Os Mapas Geográficos são gerados em um sistema baseado em uma arquitetura cliente/servidor, e funciona conforme o seguinte processo: (a) o usuário do sistema, utilizando uma ferramenta GIS, requisita a apresentação dos mapas de Linhas de Transmissão e/ou de Ordens de Serviço; (b) esta ferramenta, por sua vez, estabelece conexões HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) com o servidor através das quais são solicitados os referidos mapas; (c) para atender a estas solicitações, o servidor executa um programa CGI (*Common Gateway Interface*) que realiza consultas SQL (*Structured Query Language*) ao banco de dados corporativos, buscando os dados necessários; (d) Com estes dados, o programa CGI gera os respectivos mapas em formato KML (*Keyhole Markup Language*) e os envia ao cliente em resposta às solicitações HTTP originais; finalmente, (e) a ferramenta GIS apresenta os mapas requisitados ao usuário. A Figura 3, a seguir, apresenta de forma esquemática este sistema.

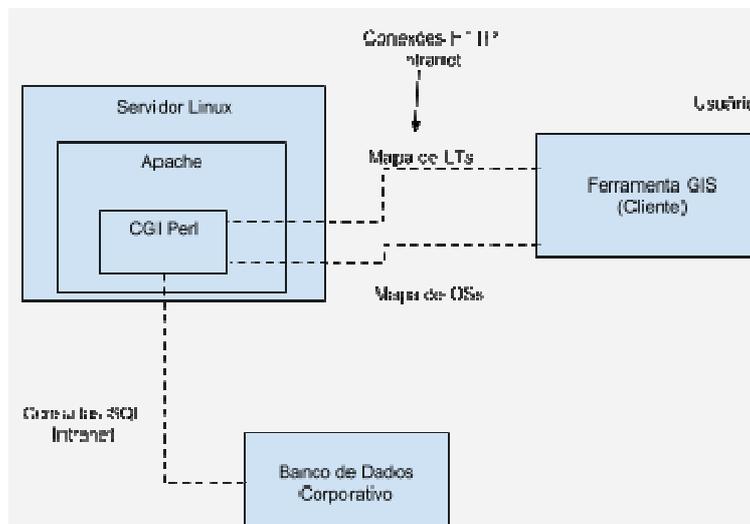


FIGURA 3 – Representação esquemática do Sistema

5.1 Principais Componentes do Sistema de Geração de Mapas Geográficos:

Os componentes desse sistema podem ser descritos da seguinte forma:

1. O banco de dados corporativo (SIGOM) concentra as informações principais relativas ao cadastro de LTs e as OSs:
 - Cadastro de LTs (estruturas):
 - Identificação da Instalação pertencente ao ativo (LT);
 - Coordenadas georreferenciadas (latitude/longitude/altitude WGS84) das estruturas das LTs;
 - Função / tipo da estrutura;
 - Tipo de fundação e aterramento;

- Dados de faseamento;
- Definição do Vão (intervalo de distância entre duas estruturas consecutivas);
- Cabos condutores e de cobertura que compõem a LT, etc.

- Ordens de Serviço:

- Defeitos cadastrados nas inspeções de LTs;
- Trabalhos necessários à correção destes defeitos;
- Datas previstas e efetivas para execução das inspeções e correção dos defeitos;

2. O programa CGI é executado em um servidor *WEB Apache 2.4* (www.apache.org) e está implementado em linguagem *Perl 5* (www.perl.org); o servidor *Apache*, por sua vez, roda em um Sistema Operacional Linux (www.kernel.org), em núcleo *LINUX 3.18*, com distribuição *ArchLinux* (www.archlinux.org).

A linguagem *Perl* foi escolhida pelos seguintes motivos:

- Facilidade para trabalhar com estruturas de dados relativamente complexas, em especial envolvendo mapeamentos chave/valor. Estas estruturas de dados são fundamentais para o processamento dos mapas de LTs de forma expressa, considerando que, em poucos segundos de processamento são gerados os mapas contendo dados de mais de 15.000 estruturas e/ou dezenas de milhares de OSs;
- Capacidade para processar textos através de expressões regulares (*regex*) incorporados na própria linguagem. As expressões regulares facilitam o processamento dos textos relativos às OSs constantes no banco de dados corporativo.

3. A ferramenta GIS utilizada no sistema, foi o Google Earth (www.earth.google.com) a qual caracteriza-se por ser uma ferramenta bastante difundida e de fácil interface com o usuário (cliente).

Os mapas de LTs e OSs são gerados na linguagem KML (*Keyhole Markup Language*) e enviados pelo CGI para a ferramenta GIS a qual, por sua vez, realiza a apresentação destes mapas para o usuário. O KML é uma linguagem de marcação de padrão aberto, que permite a exibição de dados geográficos em geonavegadores, tais como pontos, linhas, polígonos e imagens. Em sua forma compactada é denominada kmz.

5.2 Principais Produtos e Benefícios do Mapa de LTs

O mapa de LTs contém as seguintes informações:

- Traçados das LTs, diferenciando por cores, conforme o nível de tensão de cada LT;
- Posições georreferenciadas de todas as estruturas das LTs da CEEE-GT, diferenciando os principais tipos de estrutura pela cor dos marcadores (nos mapas);
- Identificação dos vãos por linhas retas unindo suas estruturas limites;
- Rótulos com os nomes das estruturas e possibilidade de acesso direto a todas as características do ativo que estão no banco de dados;
- Rótulos com as distâncias importantes nas LTs:
 - Comprimento dos vãos, calculados pelo CGI a partir das coordenadas georreferenciadas das estruturas. A incerteza na determinação do comprimento de um dado vão é aproximadamente a mesma incerteza com que foram obtidas as coordenadas georreferenciadas das estruturas limites deste vão. Considerando que, em média, as coordenadas georreferenciadas das estruturas foram obtidas com incerteza de, aproximadamente, 1,5 metros, podemos dizer que as medidas de comprimento de vãos também possuem a mesma incerteza;
 - Extensão total de uma dada LT, que é calculada pelo CGI a partir do somatório dos comprimentos dos vãos que a compõem. A incerteza da extensão total de uma dada LTs é da mesma ordem de valor das incertezas com que foram obtidas as coordenadas georreferenciadas das estruturas, pois, ao longo do somatório dos comprimentos dos vãos, estas tendem a se anularem, como, por exemplo: se o erro das coordenadas de uma estrutura contribuiu para elevar em +1m o comprimento calculado de um dado vão, este mesmo erro produziu -1m no comprimento calculado do vão adjacente, anulando assim a contribuição para a incerteza total (somatório);
 - Comprimentos entre um dado ponto no interior de um vão e os extremos da LT (Subestações dos terminais, distância progressiva). Este cálculo é feito para cada de um dos vãos, em todas as LTs. Estes comprimentos permitem a determinação imediata, com o uso das distâncias de falhas indicadas pelo sistema de proteção, dos trechos da LT onde ocorreram curto-circuitos. Para a incerteza desta determinação, podemos fazer as mesmas considerações relativas ao erro na determinação do comprimento da LT, o que significa afirmar que é aproximadamente a mesma com que foram obtidas as coordenadas das estruturas.

Os principais benefícios trazidos pelo mapa de LTs são:

- Localização rápida e precisa do traçado e de todas as estruturas que compõem as LTs da -Concessionária;
- Melhoria no acesso à informação, através de uma interface amigável e interativa, sem a necessidade do usuário acessar o sistema corporativo para fazer as consultas. Qualquer alteração na base de dados é verificada diretamente no mapa, em tempo real;
- Identificação e análise de faltas (curto-circuitos), a partir das informações do sistema de proteção (localização da falta versus distâncias progressivas apresentadas diretamente pelos mapas). Em caso de desligamentos intempestivos que necessitam a ação imediata da manutenção, esse tipo de análise agiliza o direcionamento da equipe responsável pelo seu atendimento;
- Análises de problemas conciliando com o histórico de imagens de satélite do local de interesse. Por exemplo, situações de interferência (construção, ocupação irregular) na faixa de passagem de LTs podem ser analisadas nesse contexto;

5.3 Principais Produtos e Benefícios do Mapa de OSs

Quanto aos serviços de manutenção, foi desenvolvida uma ferramenta similar ao mapa de LTs, correlacionando as OSs vinculadas a cada ativo estrutura. O mapa de OSs permite a visualização das seguintes informações:

- Localização espacial das ocorrências dos defeitos, inspeções ou qualquer outra atividade registrada no sistema corporativo através de OSs;
- Status das OSs, bem como os prazos de execução. Os prazos de execução dos trabalhos são apresentados através de um sistema cores e ícones de posição, diferenciando as OSs conforme o prazo de vencimento.
- Descrição dos defeitos encontrados e dos trabalhos a serem executados;

Os principais benefícios trazidos pelo mapa de OSs são:

- Gerenciamento das OSs no contexto espacial, auxiliado pelas cores diferenciadas dos ícones e relacionados à data de vencimento da OS (vencidas, a vencer em 60 dias, a vencer em 01 ano). Dessa forma é possível acompanhar/controlar o andamento das atividades de preventiva ou corretiva através da ferramenta GIS;
- Possibilidade de fazer filtros específicos diretamente no mapa, por exemplo, selecionar somente os defeitos em um componente da LT (isolador, faixa, estrutura, etc.) ou ainda especificar um ou mais defeitos da lista padronizada;
- Análise do histórico de manutenção de cada ativo na própria ferramenta GIS (preventiva, corretiva ou emergência);
- Análise de ocorrências de desligamento intempestivo, correlacionando a localização da falta indicada pelo sistema de proteção e os registros de defeitos pendentes.

6.0 - CONCLUSÃO

O trabalho apresentou como foi realizado o georreferenciamento das estruturas das a linhas de transmissão da CEEE-GT, bem como o desenvolvimento de ferramentas para integrar e convergir os dados do sistema corporativo com a plataforma GIS.

O georreferenciamento realizado pelas equipes próprias da CEEE-GT e conciliado com as demais atividades de manutenção de LTs otimizou recursos e qualificou os profissionais da empresa na tecnologia GIS. Como consequência deste levantamento, foi possível alavancar- com capital humano também próprio - a integração da base de dados corporativa ao sistema de informações geográficas, com a significativa vantagem de apresentar um produto final que correspondesse à expectativa da gestão da função manutenção de LT no ambiente geográfico.

No contexto atual, onde o gerenciamento adequado dos recursos existentes é fundamental para garantir a confiabilidade do sistema de transmissão e evitar perdas financeiras relacionadas à indisponibilidade operacional da função transmissão, a análise dinâmica dos diversos dados das LTs da CEEE-GT no ambiente geográfico, representa o grande benefício trazido pelo trabalho.

Portanto, o trabalho reforça os benefícios da informação geográfica aplicada a atividade de linhas de transmissão, pois contribui no processo de gestão da manutenção dos ativos da Concessionária, tornando-se uma ferramenta de

auxílio na tomada de decisão e promovendo ganhos de eficiência em diversos processos relacionados, conforme apresentado no item 5.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BLASCHKE, T.; KUX, H. Sensoriamento remoto e SIG avançados. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- (2) MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS - Descrição, fundamentos e aplicações. 2ª edição. São Paulo: Editora UNESP, 2008.
- (3) PIMENTA, F. M.; LANDAU, E. C.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. Servidores de mapas: programação para disponibilizar dados geográficos multidisciplinares utilizando tecnologias livres. Brasília, DF: Embrapa; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Leandro Henrique Bona Puchale:

- Nascido em Santa Maria – RS, em 1981;
- Especialista em Engenharia de Manutenção pela PUCRS em 2011 e graduado em Engenharia Elétrica pela UFSM em 2003;
- Trabalha na Engenharia de Linhas de Transmissão da CEEE-GT desde 2005.



Gilnei Gonçalves Furtado:

- Nascido em Rio Grande - RS, em 1967;
- Engenheiro Mecânico pela FURG em 1992;
- Mestre em Engenharia pela UFRGS, área de concentração Ciência dos Materiais, em 1995;
- Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS, área de concentração Ciência dos Materiais, em 2000;
- Trabalhou na Engenharia de Linhas de Transmissão da CEEE-GT até outubro de 2014 e atualmente faz pós-doutorado na UFRGS.



Guilherme Rosa Balestrin:

- Nascido de Porto Alegre – RS, em 1964;
- Graduado em Engenharia Elétrica pela PUCRS, em 1989;
- Trabalha na Engenharia de Linhas de Transmissão da CEEE-GT desde 2001.