



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - XV

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO
PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

MODERNIZAÇÃO DA REDE TELEMÉTRICA DO SISTEMA DE SISMOLOGIA DA ITAIPU BINACIONAL

**Bruno Marins Fontes (*)
ITAIPU BINACIONAL**

**Alberto Rist Coelho
ITAIPU BINACIONAL**

**Artur da Silva Carrijo
ITAIPU BINACIONAL**

RESUMO

A Rede Telemétrica do Sistema de Sismologia da Itaipu foi criada com o objetivo de monitorar a área do reservatório da Usina para detectar e registrar os fenômenos sísmicos que podem ter sua origem induzida pelo reservatório ou por outras fontes. Entrou em operação em 1982 e faz parte da rede sismológica brasileira. Este artigo tem por objetivo apresentar a Rede Telemétrica Sismológica da Itaipu e o processo de modernização pelo qual está passando. Serão comentados os requisitos e critérios estabelecidos para o novo sistema dando enfoque prioritário no sistema de telemetria via rádio digital que será implementado.

Com a entrada do novo sistema, espera-se estabelecer uma rede estável e confiável, capaz de monitorar e registrar os eventos sísmicos com qualidade, atendendo aos requisitos técnicos e viabilizando a correta interpretação dos dados. Os novos equipamentos devem também simplificar os procedimentos de manutenção preventiva e reduzir significativamente a necessidade de visitas não programadas das equipes de manutenção às estações.

PALAVRAS-CHAVE

Telemetria, Rádio Propagação, Rádio Enlace, Modulação Digital, Sismologia.

1.0 - INTRODUÇÃO

A Rede Telemétrica de Sismologia de Itaipu é composta de uma Estação Central, localizada na barragem da central hidrelétrica, seis estações sismográficas remotas, sendo três no Brasil (São Clemente – ITF10, São Miguel do Iguaçu – ITF04 e Santa Terezinha – VTF1) e três no Paraguai (Marangatu – ITF11, Monday – MON e Pikyry – ITF06) e ainda uma estação repetidora (Santa Fé - RSF). A Figura 1 mostra imagem de satélite do reservatório de Itaipu, indicando a localização das estações que compõem a rede na área do reservatório da hidrelétrica.

(*) Central Hidrelétrica de Itaipu, Divisão de Engenharia Eletrônica e Sistemas de Controle – Avenida Presidente Tancredo Neves, s/n, Edifício de Produção 1º Piso – CEP 85866-900, Foz do Iguaçu, PR – Brasil.
Tel: (+55 45) 3520-3070 – Fax: (+55 45) 3522-1524 – Email: brunomf@itaipu.gov.br

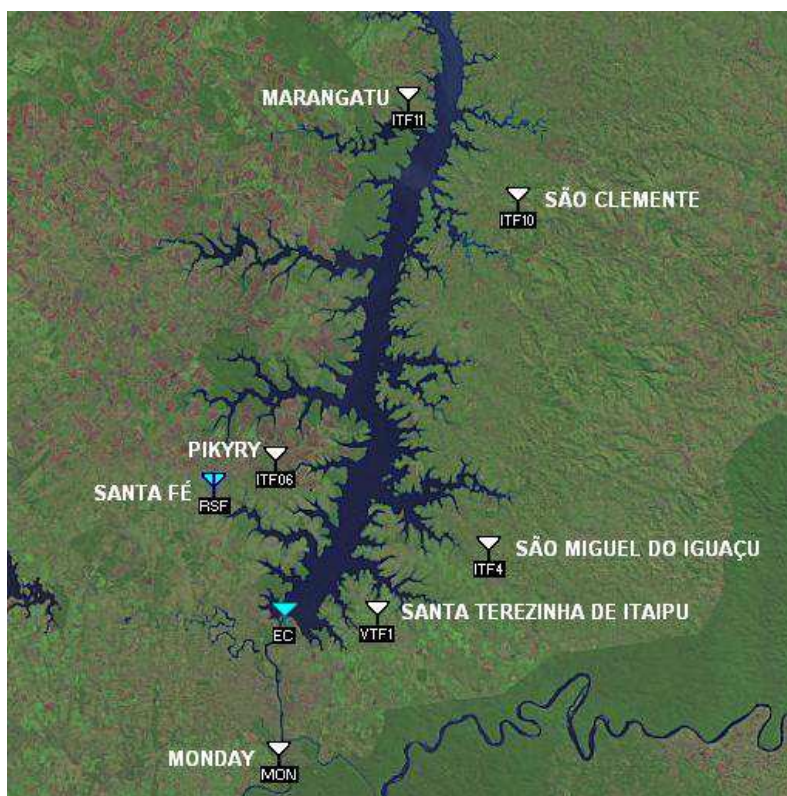


FIGURA 1 – Localização das Estações da Rede Sismológica de Itaipu

Cada estação é equipada atualmente com um sismômetro, para monitoramento de atividades sísmicas, um condicionador de sinais e um equipamento de rádio UHF na faixa de 400MHz que transmite continuamente os dados coletados para a Estação Central. Os sinais provenientes das estações São Miguel – ITF4, Santa Terezinha – VTF1 e Monday – MON são transmitidos diretamente à Estação Central. Os sinais das estações Marangatu – ITF11, São Clemente – ITF10 e Pikyry – ITF06 são retransmitidos à Estação Central pela Estação Repetidora Santa Fé – RSF. A Figura 2 detalha a rede de telemetria.

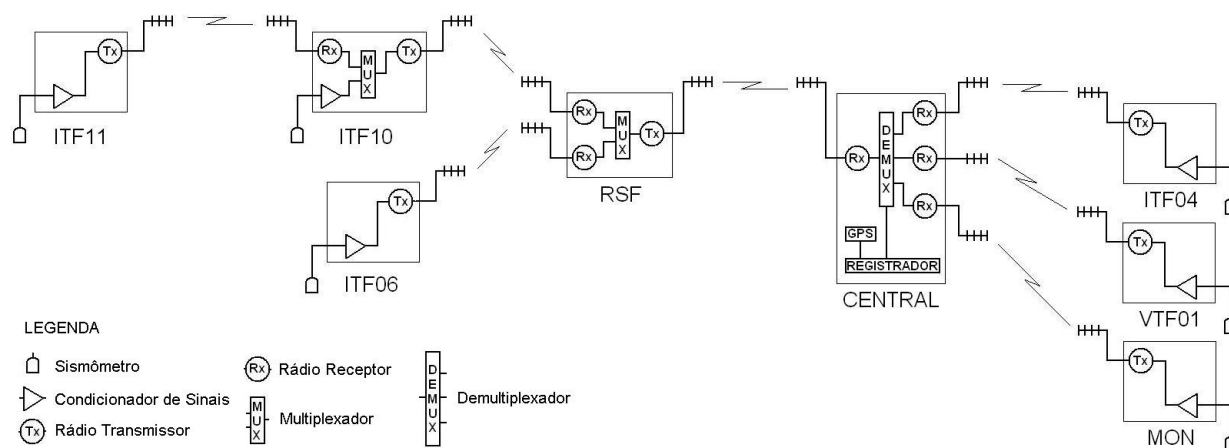


FIGURA 2 – Diagrama da Rede de Telemetria

Os dados armazenados na Estação Central são enviados periodicamente, via internet, para o Observatório Sismológico da Universidade de Brasília – SIS/UnB, para que sejam analisados com dados de outras estações

sismológicas e assim possibilitar, ao Observatório, um monitoramento completo das atividades sísmicas no entorno do reservatório da Itaipu bem como do Brasil.

O SIS/UnB é um Centro do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília e está localizado no Campus Universitário Darcy Ribeiro, em Brasília. A principal atividade do SIS/UnB é o monitoramento da sismicidade brasileira, natural e induzida. O observatório coordena, em contratos com companhias energéticas brasileiras e outros órgãos, uma vasta rede de estações sismográficas instaladas em 32 diferentes locais do território nacional, especialmente em áreas de barragens. O observatório é responsável por analisar os dados obtidos pelas estações da Itaipu e enviar periodicamente às divisões de Engenharia Civil e Engenharia Eletrônica relatórios sobre as atividades sísmicas detectadas e a qualidade das informações obtidas.

2.0 - CONFIGURAÇÃO ATUAL

2.1 Estações Remotas

As estações sismológicas remotas estão instaladas em terrenos cercados, alugados pela Itaipu em áreas ao longo do reservatório, e são constituídas de um abrigo de alvenaria, torre de sustentação do sistema irradiante e poço para instalação do sismômetro. A Figura 3 mostra a estação sismológica de Marangatu (ITF11), localizada em território paraguaio.



FIGURA 3 – Estação Sismológica de Marangatu (ITF11) - Paraguai

Os equipamentos que compõem as estações são: sismômetro, painel solar, regulador de carga, baterias, equipamento amplificador de sinais, modulador e rádio transmissor.

O equipamento rádio transmissor atualmente em operação em cada estação remota apresenta as seguintes características:

- Transmissor UHF, monocanal, marca Telefunken;
- Potência de transmissão: 200 mW;
- Modulação FM;
- Faixa de frequência: 450 – 470 MHz;
- Largura de banda: 25 kHz.

2.2 Estação Central

A Estação Central, localizada em uma sala especificamente reservada para este fim no interior da barragem (elevação 214), abriga os equipamentos para recepção, digitalização e registro dos sinais. O sistema irradiante é composto por 4 antenas tipo Yagi, instaladas na torre de microondas da elevação 225.



FIGURA 4 – Estação Central: Vista Externa, Interior da Sala e Sistema Irradiante.

São 4 rádios receptores, 6 demoduladores e 2 sistemas de aquisição de dados que operam em paralelo. Um com 24 bits de resolução em plataforma MS Windows 98 (ViSeis System) e outro com 12 bits de resolução em plataforma MS DOS (PCQuake System). Os dados são sincronizados por um relógio GPS.

Dados provenientes do acelerômetro tri-axial instalado na barragem são digitalizados e armazenados juntamente com os sinais das estações sismológicas. O equipamento rádio receptor apresenta as seguintes características :

- Receptor UHF, marca Telefunken,;
- Sensibilidade: 0,4 mV / -114 dBm;
- Faixa de frequência: 450 – 470 MHz;
- Relação sinal/ruído de 12 dB.

Os sinais registrados são compactados e periodicamente disponibilizados pelo técnico responsável da Itaipu em um servidor FTP para download e posterior processamento e análise pela equipe do Observatório Sismológico.

3.0 - MODERNIZAÇÃO

A modernização da rede visa a substituição dos rádios analógicos por modernos rádios digitais *fullduplex* com transmissão por espalhamento espectral, assim como cabos, conectores, sistemas irradiantes, sistema de aquisição e armazenamento de dados na central, aumentando assim a confiabilidade do sistema e a qualidade das informações registradas. Os novos equipamentos foram adquiridos em novembro de 2010 e a substituição do equipamento antigo encontra-se em andamento (março, 2011).

A obsolescência dos equipamentos que compõem o sistema atual, baseado em rádios transmissores analógicos com modulação FM, tornaram o sistema de monitoramento ineficiente, com alto índice de falhas, além das dificuldades enfrentadas pelas equipes de manutenção com a falta de sobressalentes e componentes para reposição.

O sistema apresenta atualmente diversos problemas, como altos níveis de ruído no sinal e freqüentes falhas de comunicação ocorridas nos rádio transmissores e na estação central. Estes problemas diminuem a eficiência do atual sistema e causam inexactidão na análise dos dados obtidos, como por exemplo, a determinação do epicentro de um evento sísmico.

3.1 Desempenho

A Figura 5 apresenta um histórico diário do desempenho operacional das estações para o ano de 2008. O resultado é relativo ao sistemas de transmissão, de recepção e interferências no espaço livre. As barras em verde indicam funcionamento normal. As barras em amarelo indicam funcionamento com problemas, referentes aos dias onde a presença de interferências e ruídos eletrônicos foram detectados no sinal analógico. Estes equipamentos, por apresentarem baixa potência de transmissão e problemas de sintonia em razão do fim da vida útil, se encontram susceptíveis a interferência de outras fontes, como por exemplo, rádio amadores. As barras em cinza indicam funcionamento parcial, referentes aos dias onde as estações deixaram de produzir dados por períodos iguais ou superiores a 1 hora de duração. Essa interrupção no funcionamento ocorre sempre em todas as estações, causada provavelmente por falhas no sistema de registro na Estação Central. As barras em vermelho indicam falha completa no registro dos dados.

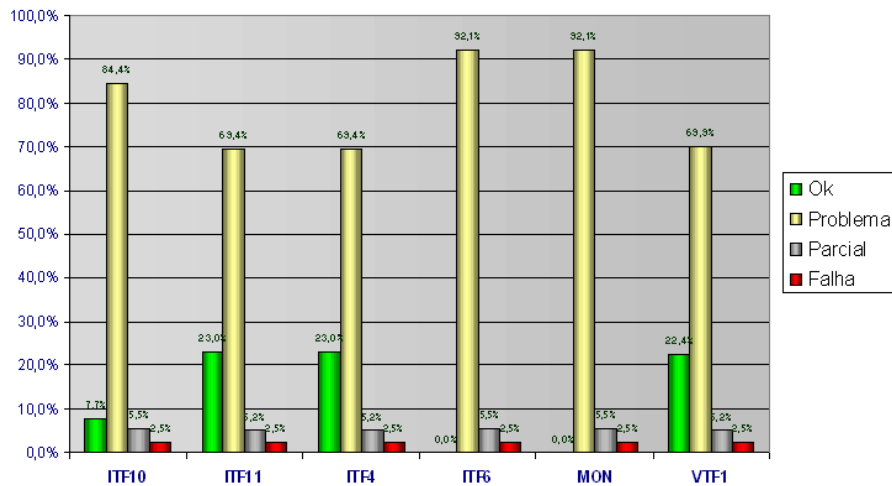


FIGURA 5 – Histórico Operacional das Estações Remotas em 2008 (jan. a dez.).

3.2 Equipamento

Os equipamentos que substituirão os antigos rádios analógicos nas estações remotas e na central são rádios digitais robustos adequados para instalação em ambiente externo, *full-duplex* que operam na faixa de 902 a 928 MHz e modulação tipo *Spread Spectrum* GFSK com espalhamento espectral por salto em frequência (*frequency hopping*). Possuem saída/entrada serial (RS-232, RS-422 ou RS-485) e *Ethernet* para comunicação com as unidades de aquisição. Em enlaces ponto-a-ponto o alcance do rádio é de até 60 milhas (aproximadamente 96 km). A potência de transmissão máxima é de 1 Watt e a sensibilidade de recepção é de -108 dBm para taxa de erro de bits (BER) de 1×10^{-6} e 110 dBm para taxa de erro de bits (BER) de 1×10^{-6} . A largura de banda ocupada pelo sistema é de 230kHz e a velocidade de transmissão de dados de 115.2 Kbaud.

Entre as vantagens do equipamento digital destaca-se a possibilidade de configuração como mestre, escravo ou repetidor, operar tanto em topologia ponto-a-ponto como em ponto-multiponto, alta imunidade à ruído, adequado para operação em ambientes congestionados, tecnologia de espalhamento espectral proprietária que evita acessos não autorizados e taxa CRC de 32bits com retransmissão automática, aumentando assim, a versatilidade do sistema.

Este equipamento ainda conta com a capacidade de auto diagnóstico, verificação de erros, medição dos níveis de sinal de transmissão/recepção, perda de pacotes, configuração remota através de um web browser, como mostra a Figura 6.

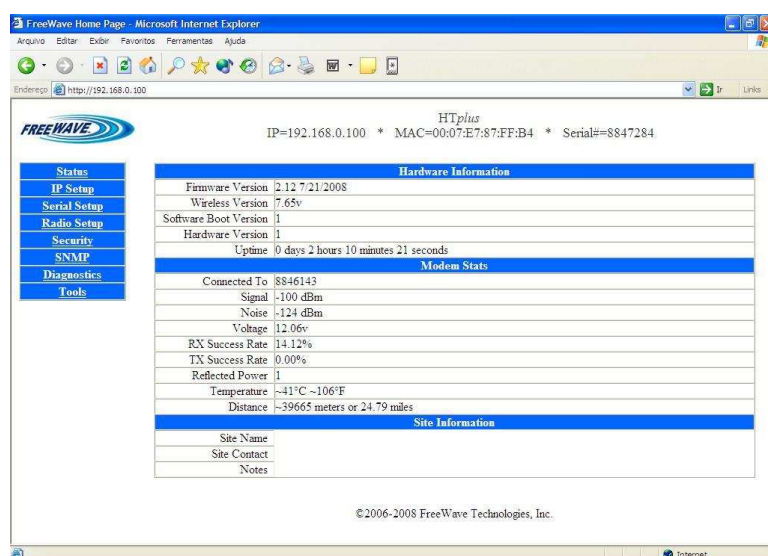


FIGURA 6 – Interface de Configuração e Diagnóstico do Equipamento Rádio

As unidades de aquisição de dados, que serão instaladas nas estações remotas, possuem canais de entrada com 24 bits de resolução para sinais triaxiais, memória flash, DSP (Digital Signal Processor), entrada para receptor GPS externo e comunicação com o rádio através de interface Ethernet. A Figura 7 mostra a configuração de uma estação remota após a instalação dos novos equipamentos. Além de diferenças no condicionamento e transmissão do sinal, o sincronismo dos dados, antes feito na estação central, será feito nas estações por meio de receptor GPS interno a unidade de aquisição de dados em cada remota.



FIGURA 7 – Novo Arranjo das Estações Remotas

Na Estação Central, a comunicação entre os rádios receptores e servidor de dados será por Ethernet. Assim, os novos radios e um *switch* substituirão os demoduladores e conversores A/D. As estações de trabalho serão também substituídas por servidores novos e atualizados, assim como o software para recepção, registro e armazenagem dos dados das 6 estações, que será fornecido pelo fabricante das unidades de aquisição de dados. O software possibilitará a replicação automática dos dados armazenados no servidor da ITAIPU para uma estação cliente na UnB, eliminando a necessidade de intervenção humana no envio dos dados.

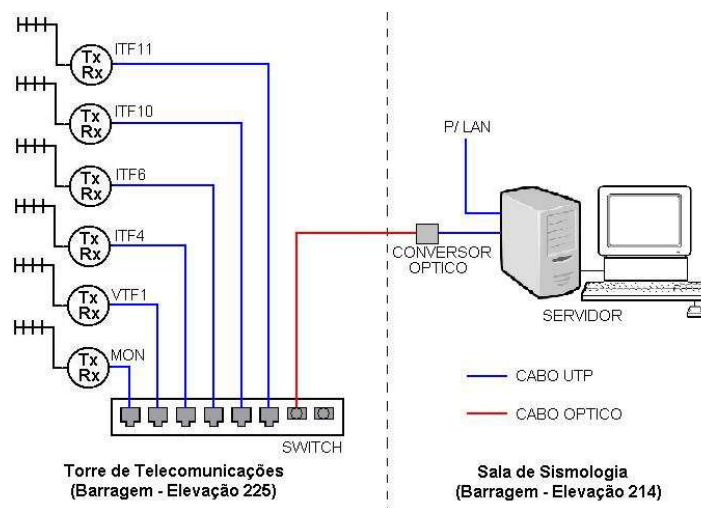


FIGURA 8 – Novo Arranjo da Estação Central

3.3 Estudo de Rádio Enlaces

3.3.1..Simulações

Para o estudo da viabilidade, avaliação de diversos cenários e conseqüente melhoria dos rádio enlaces, foram realizados simulações em *software* que levaram em consideração as características do relevo presente na região e os parâmetros definidos para os rádios, antenas e cabos, permitindo uma comparação com o *site survey* realizado na época da criação do sistema.

Para localizar possíveis obstruções nos enlaces e estimar a atenuação na propagação do sinal no estudo do dimensionamento de cabos e sistemas irradiante, os rádio enlaces foram simulados em um software de distribuição gratuita para mapeamento de perfis e predição da performance de sistemas rádio denominado Radio Mobile versão 9.3.2. Para produzir mapas virtuais, o programa utiliza dados de altimetria denominados STRM – *Shuttle Topography Radar Mission*, que podem ser descarregados gratuitamente em um servidor FTP da agência espacial norte americana - NASA. No software, os dados de elevação são parâmetros para o modelo de rádio

propagação denominado ITS (*Irregular Terrain Model*), que se baseia em teorias de eletromagnetismo, em análise estatística dos dados do terreno e das características do equipamento rádio, predizendo a atenuação média de um sinal de rádio em função da distância e da variação do sinal no tempo e espaço. Com as coordenadas geográficas e parâmetros do sistema de transmissão de cada estação remota, como potência de transmissão do rádio, faixa de frequência, polarização, sensibilidade de recepção, altura da torre, tipo e ganho do sistema irradiante, atenuação proporcionada pelo tipo de cabo e conectores utilizados, foi possível simular enlaces ponto-a-ponto e analisar diversas topologia de rede de transmissão para o sistema.

Como resultado da simulação o programa nos fornece o perfil do relevo entre as duas estações e também diversos resultados de desempenho do sistema como o nível de recepção do sinal na estação receptora, a perda em espaço livre, a localização da 1ª zona de Fresnel, a localização das obstruções da linha visada, o azimute de cada antena e também a distância entre as duas estações. Com essas informações foi possível analisar a criticidade e definir a viabilidade de cada enlace.

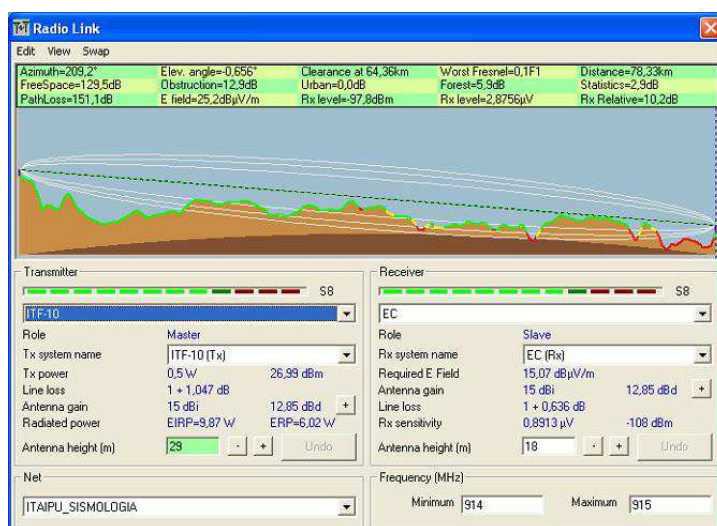


FIGURA 6 – Resultado da Simulação com o Software Radio Mobile

3.3.2..Testes em Campo

Para verificar o desempenho dos enlaces mais críticos, simulados previamente, e também avaliar as funcionalidades e características de operação dos rádios especificados, foram realizados alguns testes de rádio propagação no mês de abril de 2009.

Foram realizados apenas testes de detecção de portadora com medida do sinal recebido por faixa de frequência utilizando o próprio firmware do equipamento para obtenção dos resultados, que pode ser acessado através de um navegador de internet padrão. Não foi realizado nenhum teste com transmissão de dados proveniente de um equipamento sísmógrafo ou equipamento que simule tais dados. Também não foram realizados testes de disponibilidade, throughput e perda de pacotes.

Os testes foram realizados com todas as potências de transmissão (5mW a 1W) e utilizando todas as frequências disponíveis no rádio (de 902 a 928 MHz), e apresentou resultados satisfatórios.

O enlace São Clemente – Estação Central apresentou dificuldades de conexão, em razão da longa distância (aproximadamente 80 Km). Assim, concluiu-se que não é possível a eliminação da estação repetidora e a utilização de um enlace ponto-a-ponto direto, como se planejava nas etapas de projeto.

Os resultados de nível de sinal de recepção obtidos nos testes são muito próximos aos resultados obtidos nas simulações.

4.0 - CONCLUSÃO

A rede de telemetria para o sistema de sismologia de Itaipu é responsável pela transmissão e registro de eventos sísmicos na região do reservatório. Os dados aqui registrados são utilizados não somente para monitoramento da sismicidade brasileira pelo Observatório Sismológico da UnB, mas também por outras instituições de pesquisa, agências governamentais internacionais e também pela imprensa. É um instrumento de grande importância de comprovação científica, caso a Itaipu Binacional venha a ser responsabilizada por danos causados por um sismo que não teve origem induzida pelo reservatório.

O sistema em operação atualmente encontra-se com desempenho comprometido em razão da obsolescência dos equipamentos, falta de sobressalentes e de componentes para substituição. Motivos que implicam em desperdício

de recursos na manutenção de equipamentos que esgotaram sua vida útil e sua capacidade de operação confiável.

Os testes descritos neste trabalho propiciaram o primeiro contato com o novo modelo do equipamento rádio especificado para a modernização do sistema, assim como seus acessórios. Serviram também para verificar a viabilidade de novos enlaces no sentido de otimizar a rede de telemetria e comparar o resultados com os obtidos através das simulações.

Com o novo sistema de sismologia, espera-se estabelecer uma rede estável e confiável, capaz de monitorar e registrar os eventos sísmicos com qualidade, atendendo aos requisitos técnicos especificados pelo Observatório de Sismologia da UnB e viabilizando a correta interpretação dos dados pela equipe da Universidade. Os novos equipamentos devem também simplificar os procedimentos de manutenção preventiva e reduzir significativamente a necessidade de visitas não programadas das equipes de manutenção às estações para execução de manutenção corretiva. Os problemas causados por ruídos e interferência na transmissão via rádio dos dados e as falhas intermitentes do hardware da estação central devem ser reduzidos drasticamente.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ITAIPU BINACIONAL. Especificação Técnica: ESP. 010/2003 – Especificação Técnica para Fornecimento de Equipamentos para as Estações Sismológicas de Itaipu. Arquivo Técnico da Itaipu, 2010.
- (2) OBSERVATÓRIO SISMOLÓGICO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Relatório 123 - Dezembro/2008 a Fevereiro/2009, Contrato FUB/ITAIPU. [Brasília]. 2009.
- (3) OBSERVATÓRIO SISMOLÓGICO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Relatório 124 - Março/2009 a Maio/2009, Contrato FUB/ITAIPU. [Brasília]. 2009.
- (4) OBSERVATÓRIO SISMOLÓGICO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Relatório Consolidado - Novembro/2007 a Novembro/2008. Contrato FUB/ITAIPU. [Brasília]. 2009.
- (5) OBSERVATÓRIO SISMOLÓGICO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Relatório Especial - Relatório de Testes Rádio e Ruído em Itaipu, Contrato FUB/ITAIPU. [Brasília]. 2009.
- (6) ITAIPU BINACIONAL. Projeto da Rede Telemétrica para o Sistema de Sismógrafos de Itaipu: Projeto Técnico. Arquivo Técnico da Itaipu, 1981.
- (7) ITAIPU BINACIONAL. Projeto da Rede Telemétrica para o Sistema de Sismógrafos de Itaipu: Levantamento de Campo. Arquivo Técnico da Itaipu, 1981.
- (8) Especificações Técnicas do Equipamento Rádio, disponível em www.freewave.com. (acessado em 27 de julho de 2009).
- (9) Dados de altimetria e relevo - STRM, disponível em <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (acessado em 27 de julho de 2009).

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Bruno Marins Fontes

02/09/1984, Cascavel, PR

Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações, Universidade Federal do Paraná, 2006 e pós-graduado em Redes de Computadores e Telemática, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, 2008.

Trabalha desde setembro de 2008 na Itaipu Binacional na Divisão de Engenharia Eletrônica e Sistemas de Controle – ENES.DT.

Nome: Alberto Rist Coelho

15/05/1954, Rio de Janeiro, RJ.

Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela PUC-RJ.

Trabalha desde 1980 na Itaipu Binacional na Divisão de Engenharia Eletrônica e Sistemas de Controle – ENES.DT.

Artur da Silva Carrijo

17/11/1981, Franca, SP

Graduado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 2005 e pós-graduado em Automação, Controle e Supervisão do Processo Elétrico Baseado na Norma IEC 61850, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2010.

Trabalha desde junho de 2007 na Itaipu Binacional na Divisão de Engenharia de Manutenção Eletrônica – SMIN.DT.