



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GTL/11
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XV

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

ANÁLISE DE SISTEMAS RÁDIO EM ENLACES OBSTRUÍDOS PARA TRÁFEGO DE DADOS ETHERNET EM PCHS – EXPERIÊNCIA DA CEEE-GT

**Diogo da Silva Costa(*)
CEEE-GT**

**Adriano Wichrowski Dalbosco
CEEE-GT**

**Igor Freitas Fagundes
CEEE-GT**

RESUMO

Para atender os requisitos de comunicação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) integrantes dos Sistemas da Bacia do Rio Jacuí a CEEE-GT tem utilizado sistemas via rádio digital. A topografia da região das PCHs com a ocorrência de vales e serras dificulta a implantação de enlaces em radiovisibilidade, sendo a utilização de rádios de baixa capacidade na faixa de UHF a solução adotada. O trabalho apresenta um estudo da disponibilidade dos radioenlaces das PCHs, um comparativo com o desempenho previsto no projeto e uma avaliação de soluções alternativas e adequações da infraestrutura possíveis.

PALAVRAS-CHAVE

Telecomunicações, Pequenas Centrais Hidrelétricas, Radioenlace, Disponibilidade.

1.0 - INTRODUÇÃO

As usinas hidrelétricas da CEEE-GT estão divididas em dois Sistemas principais, denominados Sistema Jacuí e Sistema Salto, com sede nos municípios de Salto do Jacuí e Canela, respectivamente (1). Estes sistemas são compostos por quinze Usinas Hidrelétricas (UHE), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) próprias. Grande parte das usinas geradoras entrou em operação nas décadas de 50 e 60, e recentemente passaram por um processo de modernização das instalações, contemplando os sistemas de telecomunicações.

A CEEE-GT utiliza um sistema composto predominantemente por rádios digitais para atender as necessidades de comunicação das usinas em localidades remotas, onde não há cobertura via fibra óptica ou por redes GPRS de operadoras de sistemas celulares. A instalação de radioenlaces apresenta vantagens principalmente onde é possível empregar a infraestrutura de repetidoras dos sistemas analógicos legados, tais como terreno, abrigo, sistema de energia e torre de telecomunicações.

Rádios UHF de baixa capacidade na faixa de 400 MHz são utilizados para o acesso das PCHs, interligando as usinas as repetidoras de rádio ou diretamente ao *backbone* óptico presente em algumas subestações. As características de propagação desta faixa de frequência permitem a instalação de enlaces parcialmente obstruídos, o que possibilita adotar critérios de projeto menos restritivos.

O sistema de comunicação das PCHs possui canais para atender os serviços de medição para faturamento e inspeção dos medidores das usinas, de telemetria, de canais de voz e de acesso à rede de dados corporativa. Ao implementar o sistema um dos principais objetivos do projeto foi atender o sistema de medição para faturamento, com os requisitos do sistema estabelecidos no Módulo 12 dos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do

(*) Av. Joaquim Porto Villanova, n° 201 – Prédio F – sala 319 – CEP 91410-400 Porto Alegre, RS – Brasil
Tel: (+55 51) 3382-5527 – Fax: (+55 51) 3382-5529 – Email: diogoc@ceee.com.br

Sistema Elétrico (ONS).

O trabalho apresenta um estudo da disponibilidade dos radioenlaces do sistema de telecomunicações nas usinas, com base em dados obtidos por meio de ferramentas de gerência e monitoramento de rede. O desempenho do sistema é comparado ao previsto no projeto, uma vez que alguns enlaces foram implementados com margens de segurança inferiores as recomendadas por órgãos reguladores de telecomunicações e fabricantes dos equipamentos. Tais limitações foram impostas para atender objetivos de custo do projeto, com a premissa de aproveitamento da infraestrutura existente. O trabalho demonstra a viabilidade de uma solução de baixo custo para sistemas não críticos de telecomunicações, os quais não possuem tempos de resposta restritivos e nem taxas de transmissão elevadas.

2.0 - SISTEMA RÁDIO DAS PCHS

2.1 Serviços do Sistema de Comunicação das PCHs

No ano de 2009, nove usinas da CEEE-GT passaram por um processo de modernização dos sistemas de telecomunicações. Um dos principais objetivos do projeto foi atender as especificações do Sistema de Medição para Faturamento (SMF) estabelecido pelo ONS. O sistema também permitiu elevar a capacidade e confiabilidade dos canais de telemetria, canais de voz (telefonia IP) e canais de acesso a rede corporativa. As usinas dos Sistemas Salto e Jacuí contempladas pelo processo de modernização e as repetidoras de rádio do *backbone* do sistema estão representadas na FIGURA 1.

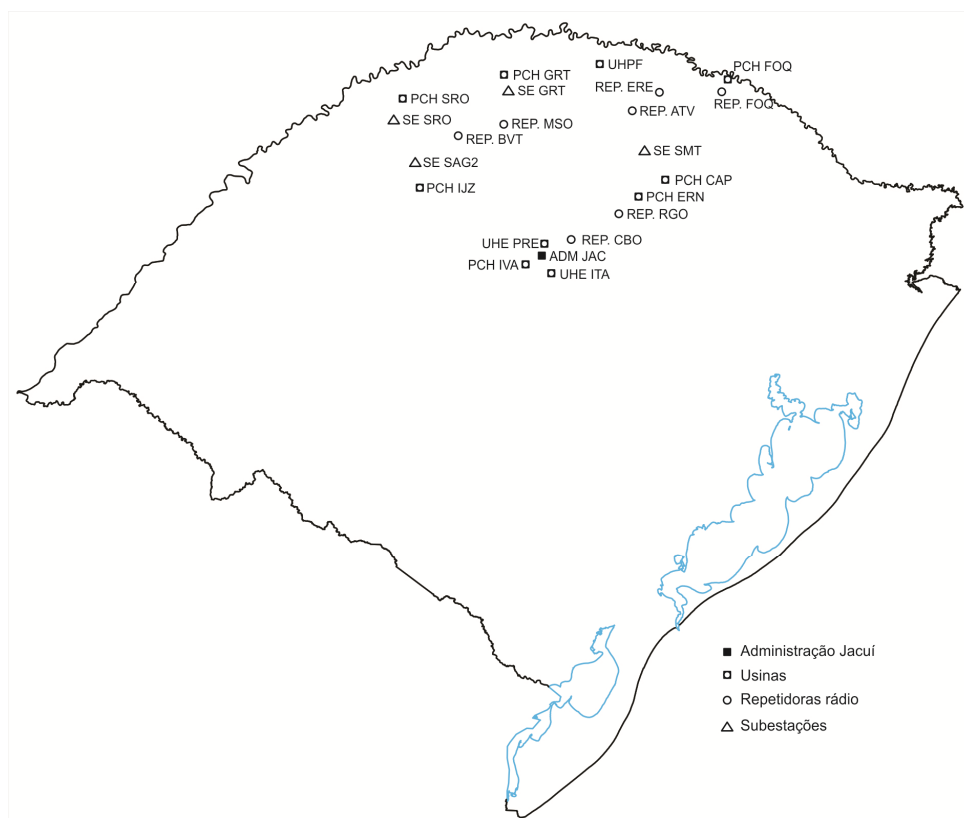


FIGURA 1 – PCHs dos Sistemas Salto e Jacuí da CEEE-GT.

O SMF é composto pelos medidores principal e de retaguarda, por transformadores para instrumentos (TI), por canais de comunicação entre os agentes e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), e pelos sistemas de coleta de dados de medição para faturamento (2). Os dados armazenados nos medidores são coletados pelo Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE) da CCEE, remota e automaticamente, por meio de acesso direto aos medidores, ou por intermédio da Unidade de Coleta de Medição (UCM) do agente.

Conforme estabelecido no Submódulo 12.2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, cabe aos agentes conectantes desenvolver as atividades de instalação do sistema de medição, tais como aquisição de equipamentos, projeto, montagem e comissionamento, bem como arcar com os ônus relativos a essas atividades.

Na elaboração do projeto, o agente responsável pelo SMF estabelece a forma de coleta (direta ou passiva), o meio de comunicação e suas respectivas rotas.

A especificação técnica das medições para faturamento, Anexo 1 do Submódulo 12.2, estabelece que deve ser utilizado um canal de comunicação estável e de bom desempenho para permitir a aquisição de leituras a qualquer tempo diretamente de cada ponto de medição. Com o objetivo de permitir a inspeção dos medidores um canal de comunicação para acesso via Internet deve ser disponibilizado a CCEE, sob o qual será estabelecido um túnel VPN (*Virtual Private Network*) entre o medidor e a CCEE.

Na forma direta o SCDE efetua a coleta dos valores de energia elétrica, de tensão e de corrente (RMS) integralizados de 5 em 5 minutos **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Na forma passiva, através de uma UCM do agente responsável pelo SMF é disponibilizado um arquivo .XML para cada medidor, de acordo com o intervalo de coleta estabelecido (dados também integralizados de 5 em 5 minutos). Para os dois métodos as leituras dos medidores devem ser armazenadas localmente e a coleta dos dados é feita por requisição, não havendo tráfego de dados de forma ininterrupta.

Os canais de telemetria trafegam dados dos sensores instalados nas barragens das usinas, entre os quais estão os dispositivos do sistema de monitoramento do nível dos reservatórios. Os canais de voz são classificados como serviços da Classe C, estabelecendo o canal de comunicação entre as usinas e o Centro de Operação da CEEE-GT. A disponibilidade para esta classe de serviço é de 95%, conforme estabelecido no Módulo 13 dos Procedimentos de Rede (5). Os canais de acesso a rede corporativa atendem demandas administrativas, como acesso a servidores e correio eletrônico, não havendo requisitos de disponibilidade pré-estabelecidos.

2.2 Sistema de Telecomunicações das PCHs

O sistema de telecomunicações das PCHs é composto por rádios de baixa e média capacidade, nas faixas de 400 e 1500 MHz respectivamente. Os rádios com interface ethernet na faixa de 400 MHz são utilizados para acesso, e possuem capacidade de transmissão de 2 Mbps. Os rádios de 1500 MHz interligam as PCHs ao sistema de transmissão via fibras ópticas da CEEE-GT, e possuem interfaces ethernet e G.703 com capacidade total de 8 Mbps.

A FIGURA 2 apresenta o diagrama do sistema de telecomunicações das PCHs sob estudo, onde dois enlaces em 8,5 GHz também são utilizados no *backbone* do sistema. Os dados do sistema de medição e de telemetria são transportados até a sede através do *backbone* óptico.

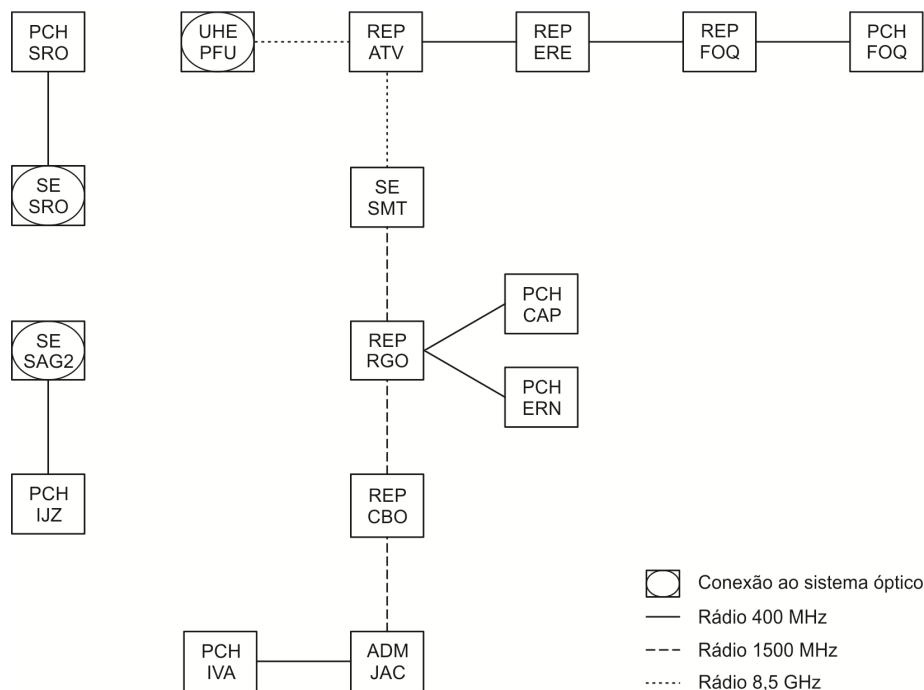


FIGURA 2 – Diagrama do sistema de telecomunicações das PCHs sob estudo.

As características de propagação na frequência de 400 MHz permitem utilizar critérios de projeto menos restritivos, possibilitando implementar radioenlaces com a linha de visada parcialmente obstruída. Assim, podem-se utilizar alturas menores de torres e obter-se uma redução dos custos do sistema.

Cinco usinas foram atendidas com enlaces de rádio em 400 MHz, por estarem localizadas próximas ao *backbone* do sistema de telecomunicações. Quatro destes enlaces apresentam características semelhantes, como distâncias entre as estações de aproximadamente 15 km e com forte obstrução da linha de visada direta. Outro enlace tem um comprimento próximo a 50 km e obstrução parcial do elipsóide de Fresnel. A PCH Forquilha foi atendida utilizando-se duas repetidoras, por estar localizada a cerca de 80 km do *backbone* do sistema de comunicações.

Por ser licenciada na ANATEL a faixa de 400 MHz gera segurança em relação a problemas de interferência no espectro. A utilização de equipamentos nas faixas de 900 MHz, não licenciada, poderia causar problemas devido a disseminação de rádios para acesso à internet no meio rural.

Os critérios de radiovisibilidade adotados na avaliação dos enlaces, fundamentais para o estabelecimento de um enlace confiável, foram a desobstrução de 30% do raio de Fresnel para $K_{\text{médio}}$ e 10% do raio de Fresnel para $K_{\text{mínimo}}$. Estes critérios são apresentados na referência (6), e são baseados em Recomendações publicadas pela União Internacional de Telecomunicações (UIT).

Para avaliar a viabilidade do sistema, cálculos de radioenlace foram desenvolvidos com a ferramenta *Pathloss* (Versão 3.0). Os perfis do terreno dos enlaces foram obtidos com auxílio do banco de dados do Google *Earth*. Os modelos para previsão da atenuação por difração foram selecionados automaticamente, sendo utilizado o modelo mais conservador no dimensionamento.

As alturas das antenas, calculadas para atender os critérios de radiovisibilidade, foram superiores as estruturas disponíveis na maioria dos enlaces, como apresentado na TABELA 1. Desta forma, testes em campo foram executados para avaliar a operação dos enlaces com fortes obstruções na linha de visada e margens de desvanecimento próximas aos limites recomendados.

Os níveis de recepção observados nos testes indicaram atenuações por difração superiores aos valores estimados pelos modelos. Apesar da margem de desvanecimento reduzida, os rádios apresentaram bom desempenho para aplicação com transmissão ethernet. A TABELA 2 apresenta as distâncias entre as estações, os parâmetros dos rádios e sistemas irradiantes, os níveis de recepção previstos e a margem de desvanecimento teórica do sistema.

TABELA 1 – Alturas das antenas calculadas para atender os critérios de radiovisibilidade.

Estação A	Estação B	Altura calculada Torre A (m)	Altura calculada Torre B (m)	Altura disponível Torre A (m)	Altura disponível Torre B (m)
PCH IVA	ADM.JAC	37	60	20	28
PCH ERN	REP.RGO	34	32	35	13
PCH CAP	REP.RGO	55	33	30	17
PCH SRO	SE SRO	68	100	30	30
PCH IJZ	SE SAG2	90	30	40	24
PCH FOQ	REP.FOQ	6	32	10	10
REP.FOQ	REP.ERE	20	5	10	10
REP.ERE	REP.ATV	13	5	20	20

TABELA 2 – Especificações dos radioenlaces e equipamentos das PCHs.

Estação A	Estação B	Distância (km)	Potência TX (dBm)	Ganho da antena (dBi)	Nível RX Previsto (dBm)	Margem de Desvanecimento (dB)	Perda por Obstrução (dB)
PCH IVA	ADM.JAC	12,99	30	20	-58,8	31,2	15,4
PCH ERN	REP.RGO	14,81	30	20	-54,7	35,3	10,9
PCH CAP	REP.RGO	47,70	30	23	-69,4	20,6	19,7
PCH SRO	SE SRO	13,56	30	23	-65,6	24,4	28,2
PCH IJZ	SE SAG2	14,69	30	20	-56,4	33,6	12,9
PCH FOQ	REP.FOQ	1,77	26	17	-64,6	25,4	30,9
REP.FOQ	REP.ERE	52,85	30	20	-62,6	28,4	7,2
REP.ERE	REP.ATV	25,79	30	17	-53,9	36,1	0,0

3.0 - ANÁLISE DOS RADIOENLACES DAS PCHS

3.1 Estudo da disponibilidade dos radioenlaces das PCHs

A análise da disponibilidade dos radioenlaces das PCHs foi desenvolvida com auxílio da versão de avaliação da ferramenta de monitoramento de rede chamada *PRTG Network Monitor*. O PRTG foi instalado em um servidor conectado a rede de *switches* das PCHs, o qual coleta e armazena dados estatísticos de desempenho dos dispositivos.

Os *switches* conectados aos rádios nas PCHs foram monitorados através do envio e recebimento de pacotes de dados por um período de dois meses. Registros dos alarmes dos equipamentos da rota de rádio, que compõem o *backbone* do sistema, permitiram isolar indisponibilidades que não foram ocasionadas por falhas dos enlaces operados pelos rádios 400 MHz sob estudo.

Alguns dos enlaces de acesso as PCHs possuem gerenciamento parcial por meio de módulos de gerência instalados em uma das estações. Entre as informações disponíveis na ferramenta de gerência estão o nível de potência de transmissão, o nível de recepção do sinal e alarmes referentes ao funcionamento do equipamento. Estas informações também foram empregadas na determinação da disponibilidade dos enlaces.

A disponibilidade teórica dos enlaces é estimada de forma estatística seguindo o modelo de um canal do tipo *Rayleigh*. A probabilidade (P_r) de um sinal recebido ser maior do que um nível de recepção limiar especificado é calculada conforme a equação (1).

$$P_r = 100 \cdot e^{\left(-10^{-\frac{A}{10}}\right)} \quad (1)$$

Onde, A é a margem de desvanecimento do enlace em dB.

A TABELA 3 apresenta os dados consolidados do monitoramento e a disponibilidade real e teórica para cada enlace. Para determinar a disponibilidade dos enlaces da PCH Forquilha, foram considerados os três enlaces como um conjunto, de forma que as indisponibilidades de cada enlace foram somadas.

TABELA 3 – Disponibilidade do sistema e dos enlaces das PCHs.

PCHs	Tempo monitorado total (min)	Disponibilidade do enlace (%)	Disponibilidade teórica (%)
PCH IVA	92.340	99,55	99,93
PCH ERN	92.340	99,70	99,97
PCH CAP	92.340	99,78	99,14
PCH SRO	92.340	99,62	99,64
PCH IJZ	92.340	97,73	99,95
PCH FOQ	92.340	99,91	99,63

A disponibilidade dos enlaces observada é próxima a estimativa teórica. Nos enlaces com maiores obstruções, como no caso da PCH Santa Rosa, a disponibilidade teórica representa uma boa estimativa do desempenho do enlace.

A correlação das indisponibilidades com as variações atmosféricas e por consequência das condições de propagação foi avaliada, mas por se tratarem na maioria dos casos de radioenlaces de curtas distâncias, não foram observados efeitos relevantes.

3.2 Soluções alternativas e adequações da infraestrutura

As adequações das torres das usinas foram consideradas como alternativa técnica economicamente viável na instalação do sistema. Nas usinas onde havia torre, como nas PCHs Santa Rosa, Capigui e Ijuzinho, e as alturas das torres eram muito baixas, foram inseridos módulos adicionais de forma a viabilizar os enlaces. Em outras onde não havia torre, foram instaladas torres originalmente utilizadas para medição eólica.

Na FIGURA 3 pode-se observar a disposição do arranjo de antenas Yagi em uma torre estaiada e também a topografia irregular que dificulta a implementação de enlaces de rádio na região das PCHs.

Nas subestações e repetidoras as torres são do tipo autoportantes, as quais apresentam vantagens em sua aplicação por ocuparem menor área no terreno e possuírem maior capacidade de carga. Porém, apresentam

custos mais elevados para ampliação se comparado a torres estaiadas.

Outra alternativa avaliada foi a inclusão de novas repetidoras para atender os casos em que haviam obstruções críticas. Porém os custos envolvidos na compra de terrenos, obras cívicas e infraestrutura para instalação das novas repetidoras eram elevados, além do longo tempo de tramitação dos processos de aquisição dos terrenos e licenciamento ambiental.



FIGURA 3 – Exemplo das instalações das antenas em torres estaiadas nas PCHs.

4.0 - CONCLUSÃO

O monitoramento da disponibilidade dos radioenlaces de acesso das PCHs permitiu validar as estimativas obtidas nos estudos de viabilidade dos projetos. Apesar de estarem operando próximo aos limites recomendados, os enlaces apresentam disponibilidades próximas ao previsto em projeto.

As atenuações por obstrução dos radioenlaces observados foram superiores as estimativas obtidas pelos modelos de propagação. Entretanto estes valores, acima dos estimados inicialmente, não comprometem a aplicação proposta para o sistema.

O uso de sistemas de rádios em enlaces obstruídos mostrou-se uma forma viável de aproveitamento das infraestruturas existentes sem a necessidade de altos investimentos adicionais. Adequações da infraestrutura das estações, como a adição das torres e estações repetidoras encareceriam demasiadamente o projeto.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CEEE-GT. Relatório Área de Geração - Setembro 2012. Porto Alegre, RS.
- (2) ONS. Procedimentos de Rede, Submódulo 12.1. Medição para faturamento: visão geral. Revisão 2.0. Disponível em: <http://www.ons.org.br>.
- (3) ONS. Procedimentos de Rede, Submódulo 12.2. Instalação do sistema de medição para faturamento. Revisão 2.0. Disponível em: <http://www.ons.org.br>.
- (4) ONS. Procedimentos de Rede, Submódulo 12.4. Coleta de dados de medição para faturamento. Revisão 2.0. Disponível em: <http://www.ons.org.br>.
- (5) ONS. Procedimentos de Rede, Submódulo 13.2. Requisitos mínimos de telecomunicações. Revisão 2.0. Disponível em: <http://www.ons.org.br>.
- (6) Miyoshi, E. D.; Sanches, C. A. Projeto de Sistemas Rádio. 3ª Edição. Editora Érica. São Paulo, 2006.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Diogo da Silva Costa

Nascido em Porto Alegre, RS em 24 de julho de 1982.

Formado em Engenharia Elétrica pela UFRGS em 2005.

Especialização em Gerenciamento de Projetos com Ênfase em TI pela PUCRS em 2011.

Empresa: CEEE-GT desde 2006.

Atua no Departamento de Engenharia e Projetos de Telecomunicações.

Adriano Wichrowski Dalbosco

Nascido em Porto Alegre, RS em 25 de julho de 1982.

Formado em Engenharia Elétrica pela UFRGS em 2007.

Empresa: CEEE-GT desde 2011.

Atua no Centro Técnico de Telecomunicações.

Igor Freitas Fagundes.

Nascido em Bagé, RS em 26 de setembro de 1988.

Formado em Engenharia Elétrica pela UFSM em 2010.

Empresa: CEEE-GT desde de 2012.

Atua no Departamento de Engenharia e Projetos de Telecomunicações.