



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

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO XV

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

**SISTEMA DE COMUNICAÇÃO BANDA LARGA SEM FIO PARA APOIO ÀS EQUIPES DE TRABALHO EM
LINHAS DE TRANSMISSÃO**

**M. G. Castello Branco(*);
D. A. W. Scavasin;**

**C. H. R. de Oliveira;
G. L. B. Porphirio;**

**R. S. Costa; J. C. Said;
J. B. Rosolem;**

**G. Preger
R. M. Ribeiro**

FUNDAÇÃO CPqD

FUNDAÇÃO CPqD

FUNDAÇÃO CPqD

FURNAS

RESUMO

Este trabalho descreve os resultados de um projeto de P&D, realizado entre Furnas e CPqD, que resultou em um sistema de comunicação sem fio para apoio às equipes que atuam na manutenção e instalação das linhas de transmissão. O projeto, composto de interface rádio IEEE 802.11 b/g, sistema de energia remota e interface óptica do cabo OPGW, foi implantado e testado em duas torres de transmissão da linha de 500 kV que interliga duas subestações no RJ. Possibilitou transmissões *quadruple play* sobre IP entre terminais portáteis próximos às torres e em pontos de acesso interconectado à rede corporativa de Furnas.

PALAVRAS-CHAVE

Sistema de comunicação sem fio, cabos OPGW e linhas de transmissão de alta tensão.

1.0 - INTRODUÇÃO

A comunicação entre equipes de manutenção e operação de linhas de transmissão de energia em geral se realiza através de sistemas rádio privativos monocanais ou VHF analógicos e através de aparelhos celulares ou trunking quando as áreas de serviço das operadoras de sistemas móveis cobrem as regiões por onde passam estas linhas. Os rádios analógicos apresentam baixa capacidade e custo elevado por MHz além de exigirem um plano de canalização com portadoras licenciadas e torres próprias com equipamentos dedicados que, em geral, permitem apenas comunicação por voz. Já os sistemas celulares, apesar de disponíveis em grande parte do território nacional, resultam em custos variáveis à concessionária associados ao tempo de utilização pelos funcionários de campo e / ou ao volume de dados transmitidos por cada um dos terminais móveis em uso, conforme os planos e tarifas praticadas pelas prestadoras de serviço.

Com base neste cenário e na extrema importância da comunicação entre as equipes de supervisão e as equipes de campo que suportam torres e linhas de alta tensão, decidiu-se por estudar uma solução tecnológica que permitisse tirar proveito dos sistemas de acesso banda larga sem fio de baixo custo que empregam faixas de frequência não licenciadas e da alta capacidade de entroncamento das fibras ópticas existentes nos cabos de aterramento OPGW (Optical Ground Wire) das linhas de transmissão de Furnas.

As seções seguintes descrevem as principais etapas e resultados do projeto de P&D realizado pelo CPqD - Fundação Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações para a concessionária Furnas –

(*)Rodovia Campinas Mogi-Mirim, KM. 118,5 – CEP 13086-902 Campinas, SP – Brasil
Tel: (+55 19) 37056543 – Cel: (+55 19) 92277653 – Email: castello@cpqd.com.br

Centrais Elétricas SA. que visou desenvolver um sistema de comunicação sem fio para apoio às equipes que trabalham ao longo das suas linhas de transmissão. A subseção 2.1 descreve os primeiros testes realizados em campo visando mapear o ambiente eletromagnético das torres de 500 kV de Furnas. A subseção 2.2 descreve as primeiras visões e arquiteturas analisadas para o sistema de comunicação e os motivos pelos quais se optou pela solução final implementada no projeto piloto, além da topologia para os testes. Na subseção 2.3 encontram-se descritos os resultados das medidas efetuadas nas fibras ópticas selecionadas para o sistema piloto. Os elementos que compõem o sistema piloto são descritos na subseção 2.4. A subseção 2.5 ilustra a fase de instalação dos gabinetes nas torres de alta tensão. A subseção 2.6 contempla os resultados dos testes realizados no sistema piloto instalado no município de Seropédica no Estado do Rio de Janeiro. A subseção 2.7 versa sobre a solução completa para permitir acesso sem fio ao longo de toda a linha. Na subseção 3.0 constam as principais conclusões do trabalho. A seção 4.0 contém agradecimentos às equipes de apoio de Furnas e do CPqD e na seção 5.0 estão listadas as referências bibliográficas mais relevantes.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

2.1 Investigação do ambiente eletromagnético das torres

2.1.1 Medições e proteção de campos elétricos e magnéticos

Visando assegurar a compatibilidade e imunidade eletromagnética do novo sistema sem fio a ser desenvolvido e instalado na proximidade das altas tensões e correntes presentes nas torres e linhas de alta tensão, foram realizadas medições de componentes 3D de campos elétricos e magnéticos em dois planos distintos situados a cerca de 20 metros do solo (altura média para a instalação do sistema sem fio) e em pontos situados em distâncias de 30 cm e 1m da face de uma das torres de 500 kV de Furnas. Tal distribuição encontra-se representada na Figura 1 onde o retângulo amarelo central representa a seção reta transversal da torre. Os resultados das medições encontram-se ilustrados nas Figura 2 e Figura 3.

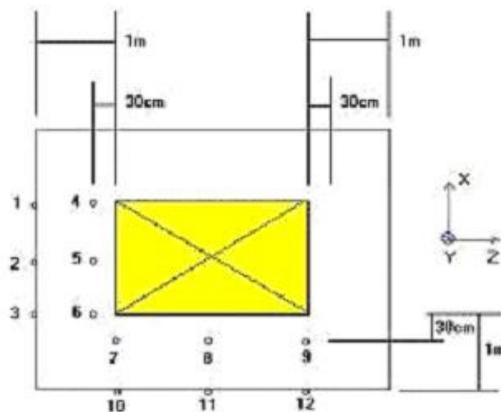


Figura 1 - Pontos de medição de campos elétricos e magnéticos próximo à face da torre.

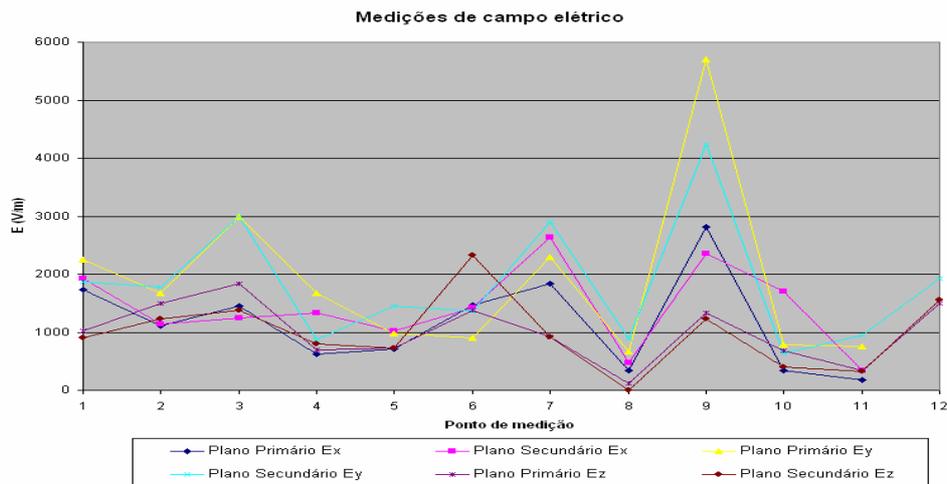


Figura 2 - Medidas de campo elétrico próximo à face da torre.

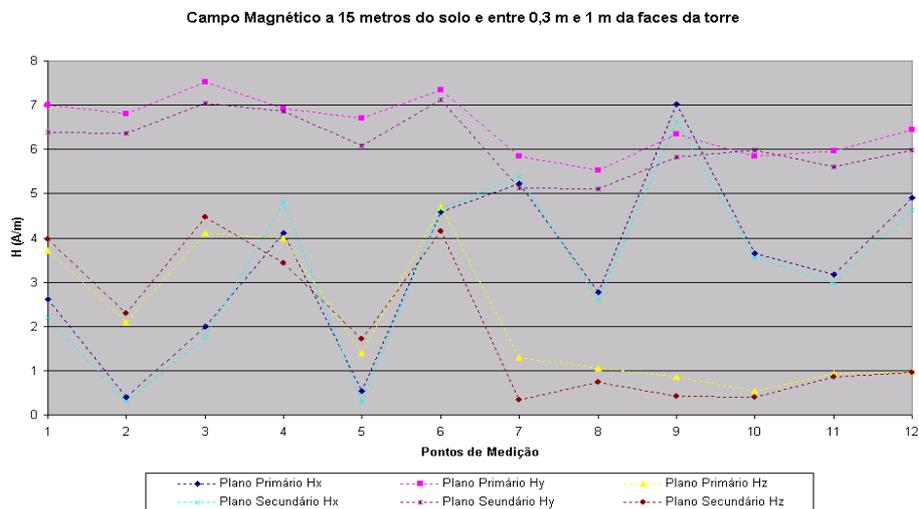


Figura 3 - Medidas de campo magnético próximo à face da torre.

As medições acima apresentaram resultados em conformidade com os limites estabelecidos pelas normas internacionais (série IEC 61000) e nacionais (Portaria 27/2002 do Ministério do Trabalho) para situação de curta e longa duração, incluindo os limites de exposição humana. Com base nestes resultados foram planejados os gabinetes de acondicionamento do sistema piloto e os procedimentos de aterramento e interligação dos diversos elementos do sistema.

2.1.2 Site survey passivo de RF

Uma vez efetuadas as medições de componentes de campo de baixa frequência, geradas pelas próprias fases da linha de alta tensão, foram efetuadas medidas de site survey com analisador de espectro e antenas de ganho padrão para se verificar as condições do espectro de radiofrequências na região selecionada para o teste piloto. As medidas foram efetuadas nas alturas de 20 m e 1.5 m do solo, visando investigar as condições de potencial interferência de RF sobre os sistemas rádio (Access Points- AP) a serem instalados nas torres e sobre os terminais de clientes sem fio. As medições se focaram especialmente na faixa de 2.4 a 2.485 GHz utilizada pelos sistemas Wi-Fi (Wireless Fidelity) no padrão IEEE-802.11 g (1). A figura 4 ilustra os resultados de uma destas medições, apontando os baixos níveis de campo elétrico observados na faixa de interesse do sistema piloto.

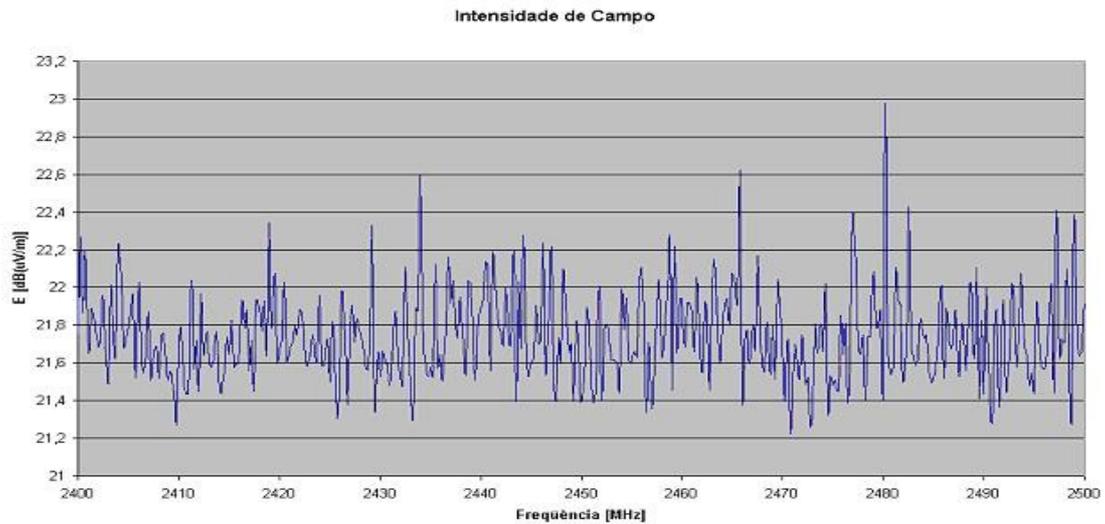


Figura 4 - Medidas de Site Survey.

2.2 Definição da arquitetura do sistema e da topologia dos testes

Visando permitir a melhor relação custo/benefício por capacidade do sistema e da efetivação do seu backhaul com máximo aproveitamento dos recursos da infra-estrutura atual de Furnas, optou-se pelo uso de pontos de acesso Wi-Fi em duas configurações distintas: a) Sistema principal com interface óptica para duas fibras ópticas do cabo OPGW da linha de transmissão e ; b) Sistema repetidor empregando o modo híbrido e acesso e distribuição via rádio na mesma frequência. Tal arquitetura encontra-se ser representada na Figura 5.

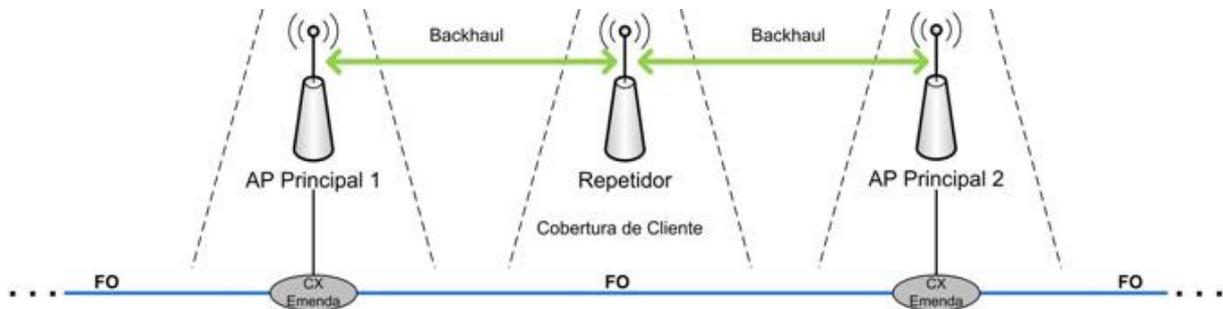


Figura 5 - Arquitetura básica do sistema piloto.

Com base nesta arquitetura, foi definida a topologia para a realização dos testes piloto do sistema conforme ilustrada na Figura 6.

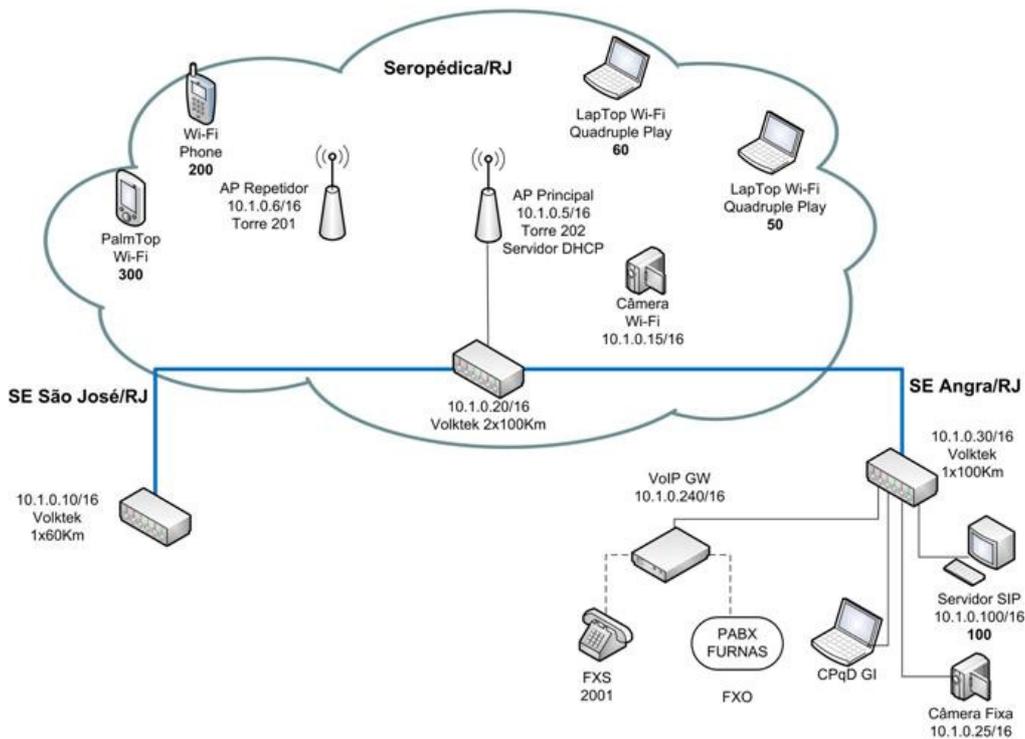


Figura 6 - Topologia de teste do sistema piloto.

A topologia acima contempla os seguintes elementos básicos: a) Access Point principal com interface óptica; b) Access Point repetidor; c) Switch principal com saídas ópticas para as duas pontas do OPGW; d) Switch terminal para a SE de S.José / RJ (ponta 1 da linha); e) Switch terminal para a SE de Angra dos Reis / RJ (ponta 2 da linha); f) Terminais de clientes diversos (laptops, palmtops, Wi-Fi Phones, câmeras Wi-Fi, etc.); g) VoIP (Voice over IP) Gateway para interface com PABX e ramal local de Angra dos Reis; h) Servidor SIP (Session Initiation Protocol) para cadastro e autenticação de clientes; i) Sistema de gerência de rede (CPqD GI) em demonstração. Os elementos (a) até (c) da lista acima representaram a parte do sistema que foi instalada nas torres intermediárias da linha que se situaram no município de Seropédica / RJ a aproximadamente 100 km de Angra dos Reis e 50 km de S. José.

2.3 Medições de atenuação nas fibras e retrabalho na caixa de emenda do OPGW

Visando o atendimento às distâncias previstas entre as torres de Seropédica e as subestações das pontas (S.José e Angra dos Reis) foram realizadas medições de atenuação nas fibras ópticas selecionadas para o backhaul. A Tabela 1 mostra os resultados destas medições.

Tabela 1 - Medidas de atenuação nas fibras do sistema piloto.

Local	Fibra	Distância (Km)	Atenuação Total	Atenuação dB/Km
São José / Angra	14	144,4	32,0	0,22
São José / Angra	16	144,4	31,0	0,22
Seropédica / Angra	14	94,0	18,9	0,21
Seropédica / Angra	16	94,0	19,2	0,21
Seropédica / São José	14	50,4	13,4	0,26
Seropédica / São José	16	50,4	12,0	0,24

Tais medições foram efetuadas ao longo de toda a linha de 144 km e entre as subestações das pontas (S. José e Angra dos Reis) e a caixa de emenda da torre escolhida como principal em Seropédica. Nesta mesma caixa de emenda foram feitas adaptações mecânicas de cabeçote para a inserção de cordão óptico que permitiu a interligação ao sistema sem fio principal. A Figura 7 ilustra o trabalho mecânico realizado nesta caixa que contemplou a inserção do cordão óptico.



Figura 7 - Adaptação de cordão óptico na caixa de emenda principal.

Com base nas medições das fibras ópticas selecionadas para o piloto, foi possível estabelecer os níveis de potência adequados aos switches ópticos do sistema piloto. Para tanto, foram empregados módulos ópticos para 100 km ($\lambda = 1550$ nm) e 60 km ($\lambda = 1310$ nm), respectivamente, para os trechos Seropédica – Angra e Seropédica – S.José.

2.4 Elementos do sistema sem fio

Para as partes do sistema sem fio que foram fixados às torres principal e repetidora em Seropédica, os seguintes elementos principais foram integrados: a) Access Points; b) Antenas omnidirecionais de 15 dBi em diversidade; c) Protetores de surto para as antenas; d) Cabos de RF de baixa perda; e) Injetores de energia e dados para os Access Points (*Power Injectors*); f) Switch com 2 portas ópticas e ao menos 1 elétrica; g) Baterias seladas totalizando 24 VDC cada conjunto; h) Painéis solares fotovoltaicos; i) Reguladores de tensão; j) Chave liga e desliga do sistema de energia; k) Termostato e ventoinha para controle térmico do gabinete.

A Figura 8 ilustra estes elementos e sua integração ao sistema sem fio para a torre principal (T202). Para o sistema da torre repetidora apenas o switch óptico não foi utilizado.

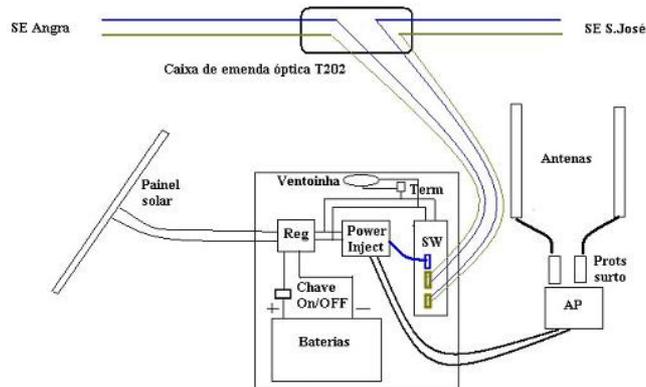


Figura 8 - Elementos do sistema sem fio da torre principal.

2.5 Instalação do sistema em campo

As Figura 9 e Figura 10 ilustram as fases de içamento e instalação do sistema piloto nas torres principal e repetidora selecionadas na região de Seropédica/RJ.



Figura 9 - Fixação do gabinete principal na torre.



Figura 10 - Vista das torres após montagem.

Na Figura 10 observa-se que o sistema piloto foi montado de forma a atender também uma segunda linha de transmissão que corre paralela à linha S.José – Angra dos Reis, ao menos no trecho que passa pela área de teste em Seropédica.

2.6 Testes do sistema piloto

Para a validação experimental do sistema, foram realizados os seguintes testes no local: i) Avaliação de cobertura (Figura 11); ii) Avaliação de distância limite para enlace repetidor; iii) Testes de desempenho de aplicações de Voz, Dados e Vídeo sobre IP na rede piloto; iv) Testes de conectividade à rede corporativa de Furnas.



Figura 11 - Resultados dos testes de cobertura de sinal do sistema piloto.

A Figura 11 mostra um dos resultados dos testes de cobertura ilustrando os níveis de sinal recebido pelos terminais de clientes sem fio nas vias de acesso às torres principal e repetidora. Estes resultados foram obtidos com o auxílio da ferramenta ESS-Pro do fabricante Ekahau (2) a partir de uma imagem aérea geo-referenciada do local e extraída do aplicativo Google Earth.

O enlace repetidor real do sistema piloto instalado ficou limitado à distância efetiva de cerca de 320m entre as torres 202 e 201 da linha selecionada. Para estas distâncias o nível de potência recebida pelo AP repetidor a partir do AP principal foi da ordem de -60 dBm. Uma vez que um nível de -70 dBm pode ser considerado bastante bom para o enlace de repetição entre os APs, foi efetuado um teste de repetição com um AP adicional que fora instalado provisoriamente na torre 198 situada a cerca de 1 km da torre principal 202. O nível de sinal obtido no enlace de repetição provisório ficou em -66 dBm ainda superior ao limite estabelecido de -70 dBm. Com base neste teste e em cálculos efetuados numa ferramenta de simulação de enlaces, foi possível estimar que, em condições de relevo e propagação equivalentes às encontradas no local do teste piloto entre as torres 201 e 202, seria possível configurar um enlace de repetição entre os APs a uma distância de cerca de 2 km. Tal distância permitiria contemplar a montagem do sistema sem fio principal em distâncias médias típicas de 4 km entre as torres de Furnas dotadas de caixas de emendas ópticas.

Para os testes de desempenho de aplicações, além da avaliação subjetiva dos recursos contidos nos diferentes terminais de cliente utilizados, foram efetuadas emulações de tráfego na rede piloto através da ferramenta *Ix-Chariot* do fabricante Ixia. As Tabela 2 e

Tabela 3 mostram os resultados destas emulações de carga na rede e os consequentes limites de chamadas simultâneas de VoIP estimados. Na Tabela 2 os resultados de qualidade de voz objetiva baseado em MOS (*Mean*

Opinion Score) foram obtidos com a emulação de 18 chamadas VoIP bidirecionais simultâneas na rede piloto, empregando um codec ITU-T G.711 (3). Com um codec ITU-T G.729 (4) com maior compressão, um MOS equivalente ao anterior foi obtido com até 24 chamadas VoIP bidirecionais simultâneas na rede, como mostra a Tabela 3.

Tabela 2 - Emulação de 18 chamadas VoIP simultâneas com codec ITU-T G.711

Group/Pair	MOS Average	MOS Minimum	MOS Maximum	R-value Average	End-to-End Delay Average (ms)	One-Way Delay Average (ms)	RFC 1889 Jitter Average (ms)	Percent Bytes Lost E1 to E2
All Pairs	3,87	1,00	4,37	78,11	92	31	4,171	1,015

Tabela 3 - Emulação de 24 chamadas VoIP simultâneas com codec ITU-T G.729

Group/Pair	MOS Average	MOS Minimum	MOS Maximum	R-value Average	End-to-End Delay Average (ms)	One-Way Delay Average (ms)	RFC 1889 Jitter Average (ms)	Percent Bytes Lost E1 to E2
All Pairs	3,78	1,00	4,02	74,45	138	63	4,705	0,875

Além disto, foi testada com sucesso a transmissão de vídeo em tempo real através de uma câmera Axis 211 (5) com interface Wi-Fi e chave de criptografia WPA2. O recurso serviu de apoio à supervisão e acompanhamento das montagens e testes do sistema pelas equipes de engenharia situadas na subestação de Angra dos Reis e em qualquer outro ponto da rede corporativa de Furnas através do endereço IP fixo atribuído à câmera de vídeo.

Nos terminais sem fio tipo palmtops e laptops foi testada também com sucesso um aplicativo que permite a comunicação de VoIP com o recurso de PTT (*Push to Talk*) que possibilita chamadas de voz em grupo ou broadcast de modo semelhante aos atuais rádios VHF muito usados pelas equipes de campo da concessionária. Detalhes do desempenho deste aplicativo denominado iTalkie (6) pode ser encontrado em (7).

Para os testes de conectividade da rede piloto, à rede corporativa de Furnas, foram efetuadas reconfigurações dos endereços e máscaras IP dos elementos do sistema piloto de forma a se adequar às regras da corporação e permitir os mecanismos de autenticação dos usuários através dos novos terminais de cliente sem fio. Após tais reconfigurações o sistema piloto foi novamente avaliado experimentalmente com sucesso, permitindo conexões de voz, dados e vídeo sobre IP entre usuários sem fio do sistema piloto e usuários corporativos em terminais de acesso fixo ou ramais telefônicos da empresa. Através da interface do VoIP Gateway com o PABX da subestação de Angra dos Reis, foi possível também acessar usuários telefônicos externos fixos ou móveis. A interconexão à rede corporativa permitiu ainda aos usuários do piloto uma interface de saída para a Internet.

2.7 Acesso sem fio para toda a linha

Os resultados obtidos apontam então para uma solução de acesso sem fio que pode ser estendida a todo o vão da linha de transmissão entre as duas subestações interligadas. Com base nas medições e simulações efetuadas, verifica-se ser possível empregar sistemas rádio operando no modo repetição e espaçados a uma distância de até 2 km. Desta forma, aponta-se como viável a montagem de uma solução de comunicação para toda a linha com um AP montado em cada torre dotada de caixa de emenda óptica (situado em média a cada 4km na linha) e apenas um AP intermediário situado a cerca de 2 km e interligado à rede pelo modo de repetição sem fio. Neste contexto, como ambos os tipos de AP (com e sem conexão à fibra) teriam capacidade também para prover acesso a terminais sem fio portados pelos usuários sob sua cobertura, teríamos uma solução de rede que atenderia a todo o vão da linha de transmissão, conforme a topologia ilustrada na Figura 5.

3.0 - CONCLUSÕES

Os principais resultados alcançados por este trabalho de P&D para a empresa Furnas foram: a) Os testes realizados confirmaram que a rede piloto é tecnicamente viável e de baixo custo por se tratar de um único rádio em 2,4 GHz acumulando as funções de acesso à cliente e backhaul pelo modo WDS (Wireless Distribution System); b) O sistema permite múltiplas aplicações tais como *quadruple play* (serviços de voz, vídeo, dados e mobilidade) e PTT em vários tipos de terminais, além de interconexão aos sistemas corporativos (PABX e rede Furnas); c) O sistema exige disponibilidade de fibra óptica para o backhaul na solução Wi-Fi / Ethernet ao longo de grandes lances da linha de transmissão; d) O sistema demonstrou robustez e confiabilidade, incluindo energia remota que se manteve com carga por mais de um ano desde sua instalação, incluindo períodos de chuva ou forte nebulosidade; e) O sistema comprova viabilidade de uma rede de acesso sem fio e entroncamento óptico para todo o vão da linha entre as subestações reutilizando com eficiência os recursos já disponíveis na concessionária,

tais como torres e cabo OPGW. A notícia deste primeiro piloto foi divulgada na imprensa especializada (8).

4.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores registram aqui seus agradecimentos às equipes de engenharia e manutenção de linhas de Furnas por todo o apoio dado durante os trabalhos, especialmente, nas atividades de campo. Agradecimentos também aos demais colegas do CPqD que deram suporte ao projeto em diversas outras áreas tais como sistemas de energia e aterramento.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE 802.11g-2003 – Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band;
- (2) <http://www.ekahau.com/?id=4601>;
- (3) ITU-T G.711 - Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies;
- (4) ITU-T G.729 - Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP).
- (5) http://www.axis.com/products/cam_211/;
- (6) <http://www.tabletmedia.com/italkie.html>;
- (7) OLIVEIRA, Carlos Henrique Rodrigues; BRANCO, Marcos Guimarães Castello, COSTA, Rodolfo de Sousa - "Push-to-talk over Wi-Fi" - ICWN'08 - The 2008 International Conference on Wireless Networks - July 14-17, 2008, USA.
- (8) Revista RTI – Redes, Telecom e Instalações – Out/2008 – Edição Especial do Futurecom – págs 6 a 8; "CPqD implanta rede piloto de Wi-Fi para Furnas".