



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

BR/GTL/32  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - XV**

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

**O IMPACTO DA GERAÇÃO TÉRMICA EM REDES DE DADOS SEM FIO**

**Marcelo Luiz de Amorim Cabral  
Eletrobras Furnas**

**RESUMO**

As redes de dados sem fio convencionais tem pleno emprego em diferentes aplicações móveis ou em ambientes de difícil ou lenta infraestruturação. No entanto, existem ambientes inóspitos as transmissões rádio por razões inerentes as características do mesmo.

Este estudo visa propor o planejamento de cobertura destas redes em ambientes com alta variação térmica, transitórios elétricos de alta potência, tensões elevadas e anteparos metálicos densos, tal como é uma usina termoeletrica, ambiente utilizado neste estudo,ou similares.

**PALAVRAS-CHAVE**

WLAN, IPDECT, termoeletricidade, atenuantes civis, indução elétrica.

**1.0 INTRODUÇÃO**

As redes sem fio para provimento de voz e dados, nas mais variadas formas, tem ampla aplicação e sofrem, conforme o método de propagação, atenuações ou desvanecimentos motivados pelo ambiente a atender. Este estudo, visando propor um modelo adequado à cobertura de usinas térmicas, busca comparar duas tecnologias e obter as características destes atenuantes, presentes em uma usina térmica ou similar, e propor valores adequados para estudos de cobertura para implantação das mesmas.

**1.1 Redes 802.11**

As redes sem fio, em conformidade com a recomendação 802.11g, oferecem taxas de até 54Mbps em até 13 canais interpolados, conforme a Figura 01, e empregam diferentes modulações, ajustáveis a BER (Bit Error Rate) verificada, e diferentes métodos de acesso ao meio (01), conforme a Figura 02.

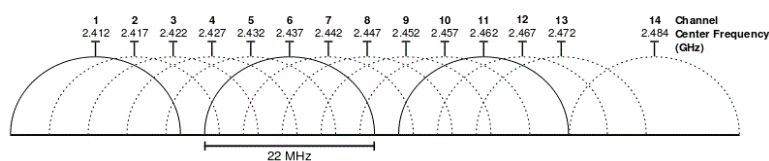


Figura 01 – Disposição dos canais, conforme a recomendação 802.11g (02)



Figura 02 – Padrões de acesso regulamentados pela IEEE 802.11. (03)

A necessidade de proteger os dados trafegados e autenticar os usuários habilitados da rede gerou a necessidade de protocolos criptografados específicos para tal.

As diferentes combinações de cabeçalhos identificadores e dimensionamentos de pacotes, em conformidade com as recomendações do IEEE, exigem redes bem planejadas com altos requisitos de Sinal/Ruído, BER e conhecimento pleno dos atenuantes presentes a fim de obter o correto posicionamento das antenas.

A interpolação de canais, embora facilite a adequação de múltiplos canais em banda reduzida, representa um atenuante a mais, que piora na medida em que o tráfego adensa.

Dadas as proposições acima, fica claro que avaliar os anteparos e os atenuantes elétricos, térmicos e atmosféricos é primordial para a correta distribuição dos pontos de acesso (AP, em inglês) ao longo da área a ser coberta.

## 1.2 Redes IP-DECT

O DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) é um padrão para terminais de telefonia sem fio, regido pela ETSI, por meio das recomendações ETSI EN 300-175 [1-8] (DECT) e a RFC 3344 (Mobile IP over IPv4).

O IPDECT opera entre 1,9 e 1,93 GHz com potência variando entre 100 e 250 mW, utiliza o TDMA, opera com modulação em fase ou frequência, alternando-a na medida em que varia a BER e utiliza 24 TS (time slots) para chavear o canal de operação da chamada e agrupar um volume maior de conexões simultâneas sem aumentar o número de subportadoras. A criptografia usa uma chave de 128 bits para autenticação e outra de 64 bits para dados trafegados (04).

A sinalização do sistema DECT se dá pela emissão regular de pulsos com 0,08 ms de duração dentro de uma janela de 10 ms, cuja largura de pulso comuta para 0,38 ms em uma chamada, conforme a Figura 03, e alocando as chamadas conforme a Figura 04.

Quando operando em potência máxima nas ERB [250mW / 23,97dBm], o sistema terá como característica a potência média por chamada de 9,5mW [9,77dBm] e de 02 mW [3,01dBm] em modo de espera.

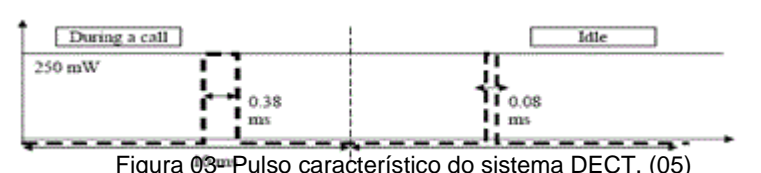


Figura 03 – Pulso característico do sistema DECT. (05)

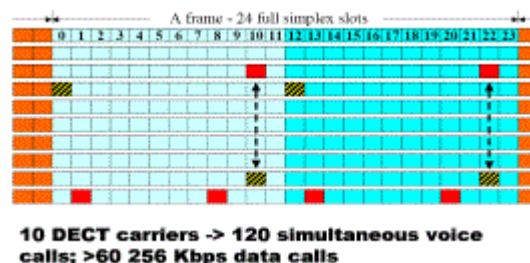


Figura 04 - Quadro de alocação dos TS (Time Slots) nas portadoras. (06)

## 2.0 - ESTUDO DE COBERTURA

O estudo de cobertura apresentado divide-se em três pontos sendo o primeiro a avaliação da capacidade estimada de tráfego de dados. O segundo, os contornos de propagação e o terceiro, o impacto da geração termoelétrica.

A capacidade de transmissão será apenas proposta, conforme o Item 2.1, visto que alguns recursos pertinentes à sua avaliação estavam indisponíveis à época dos testes.

Os contornos de propagação, conforme os Itens 2.2 e 2.3, serão descritos em duas tecnologias, a saber, 802.11g e IPDECT, e descreverão as dificuldades enfrentadas pelas mesmas em relação aos atenuantes.

O impacto da geração avaliará, somente, a variação de cobertura de uma rede 802.11g em um parque gerador térmico, dadas as mesmas condições ambientais e patamares de geração diferentes, conforme o Item 2.4.

### 2.1 Capacidade de transmissão de dados

Os prazos a expirar para a conclusão das requisições requerem tempos de transmissão mínimos para o correto atendimento e, para tal, faz-se necessário atender a equação 01, no que tange a máxima BER aplicável às variáveis e os limites mínimos da relação sinal/ruído, obtidos pelas Equações 02 e 03.

$$C = Bw * \log_2 \left( 1 + \left( \frac{eb}{n_0} \right) * \left( \frac{c}{Bw} \right) \right) Bps$$

Equação 01 – Capacidade máxima de canal teórico. (07)

Onde:

- C: Capacidade máxima do canal, em Bps.
- Bw: Largura de banda, em Hz.
- Eb: Energia do Bit, em Joule;
- n: Densidade espectral da potência de ruído, em W/Hz
- C / bw: Eficiência espectral, em Bps/Hz.

$$\left( \frac{Eb}{N_0} \right)_{min} = Ln2 = -1,59 \text{ dB}$$

Equação 02 – Limite de Shannon (07)

$$BER = \left( \frac{1}{2} \right) \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\left( \frac{2Eb}{N_0} \right)} \right)$$

Equação 03 – Taxa de erro de bit (07)

Onde:

- BER: Bit Error Rate (taxa de erro de Bit)
- erfc: função de erro complementar.

Uma criteriosa observação destes limites atesta que os transitórios eletromagnéticos inseridos nas áreas de cobertura dos transmissores da rede sem fio (Access Point - AP) podem afetar a energia do bit (EB), atingindo o limite de Shannon ou elevando a BER de tal maneira a inviabilizar a transmissão de dados, dada a excessiva repetição de pacotes, ou impedir as autenticações, caso este atenuante atue durante as autenticações.

Portanto, é primordial avaliar a intensidade, duração e repetibilidade destes atenuantes na rede a instalar.

Outro ponto a avaliar é a taxa de onda estacionária (VSWR), o que correspondeu a uma VSWR de 1,4, dado o valor real e o valor medido, que acresce ao cálculo do enlace 8,8 [dB@2,412Ghz](#) (802.11g), de ganho real, ou seja, um ganho menor do que o esperado para a antena em uso (15dB).

Os seguintes valores de atenuação eram esperados, conforme cálculos abaixo:

- Atenuação dos cabos:

$$LMR400 = 0,22 \text{ dB/m} \times 10\text{m} = 2,2 \text{ dB}$$

Atenuação dos conectores:

$$\text{Conectores tipo N} = 1 \text{ dB/conector} = 2\text{dB}$$

- Atenuação em espaço livre:

$$Lo = 32,45 + 20 \cdot \log 2412 + 20 \log (\text{dist}_{km})$$

$$Lo_1 = 100,098 + 20 \log 8 \times 10^{-3} = 58,15$$

$$Lo_2 = 100,098 + 20 \log 15 \times 10^{-3} = 63,61$$

Quanto à atenuação em espaço livre, adotemos o Gráfico 01:

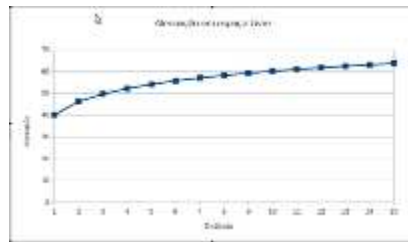


Gráfico 01 – Atenuação no espaço livre.

## 2.2 Estudo de cobertura de áreas cobertas

O estudo de cobertura de áreas cobertas assume particularidades inerentes a distribuição dos equipamentos, ao volume térmico aplicado, isto é, o fluxo de gases aquecidos em diferentes tubulações metálicas e as profundidades peliculares associadas, uma vez que os mesmos tornam-se atenuantes pelo simples fato de serem condutores. Portanto, todo e qualquer ambiente interno será subdividido em função da distribuição dos equipamentos.

A Figura 05 ilustra a medição obtida em relação a um ambiente com baixa densidade de equipamentos.

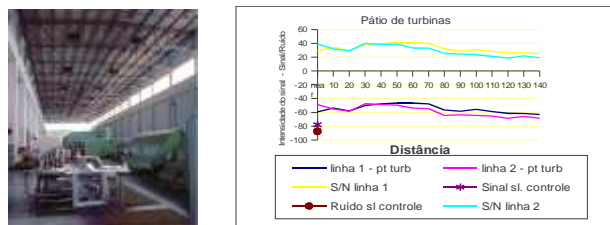


Figura 05 – Ambientes internos com baixa densidade de equipamentos.

A avaliação da cobertura necessita atender dois parâmetros, A medição dB/m, para inferir sobre alcance de cobertura, e a medição dos atenuantes existentes, sejam eles anteparos ou transitórios eletrotérmicos. Estabelecidos os parâmetros, foram obtidos os Gráficos contidos nas figuras 05 e 06.

A Figura 06 ilustra a medição obtida em relação a um ambiente com alta densidade de equipamentos.

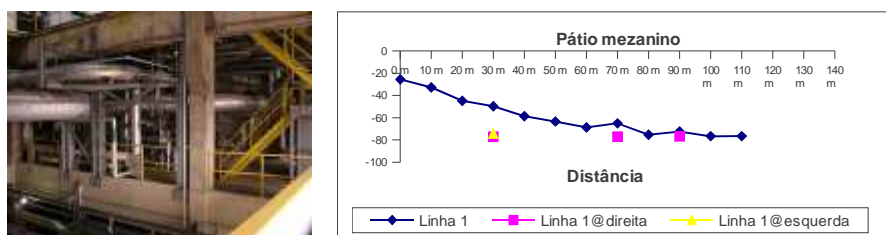


Figura 06 – Ambientes internos na área com Alta densidade.

Por meio do Gráfico contido na Figura 05 é possível inferir que o alcance de cobertura para a operação de uma rede 802.11g, nestas condições, com taxa mínima e sem garantia de serviço, não excederá 80 metros.

Por meio do Gráfico contido na Figura 06 é possível inferir que o alcance de cobertura para a operação de uma rede 802.11g, nestas condições, com taxa mínima e sem garantia de serviço, não excederá 40 metros.

A medição também apontou que o valor típico de atenuação por paredes, no caso de prédios de usinas, deve ser de 31dB, ao contrário dos 20dB, usuais em programas para estudos de cobertura, e isto se deve a densidade das ferragens por seção reta da planta destas edificações.

O estudo também apontou que para se obter um nível de sinal que gere um campo elétrico que exceda o nível de segurança para operação de uma binária de um controlador lógico, relé digital ou similares, precisa ser

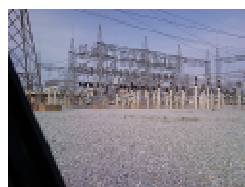
superior a 08 células de coberturas interpostas com AP irradiando 36dbm cada, o que é excede ao número típico de células interpoladas para casos similares.

### 2.3 Estudo de cobertura de áreas externas

O estudo de cobertura de áreas externas, em função da diversidade de ambientes e da interação entre eles, conforme a Figura 07, exige que a avaliação estabeleça contornos de operação.



Área de geração termoeletrica



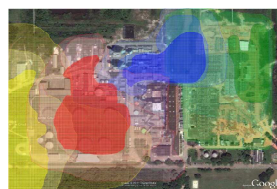
Subestação

Figura 07 – Ambientes externos.

Para tal, o estudo da cobertura seguiu os mesmos critérios de áreas internas, mas comparou triangulações entre posicionamentos do mesmo AP e, por meio disto estabeleceu áreas de cobertura, conforme a figura 08. As células apresentadas, tão somente demonstram alcance, mas não garantem serviço na periferia.



802.11g



IPDECT

Figura 08 – Mapa de cobertura

### 2.4 Impacto da geração térmica

A avaliação de cobertura 802.11g, em um ambiente com geração térmica oriunda de duas turbinas a gás de 176MW, se deu em três etapas, correspondentes aos três testes de rejeição de carga e operações de proteções da mesma, realizados entre fevereiro e abril 2011.

O teste de rejeição da máquina consistia em rejeitar cargas da turbina conforme o seguinte procedimento: a partir da geração nula, 0MW, elevar a turbina a um patamar prévio de geração (50, 100, 120 e 170 MW), estabilizar, rejeitar, estabilizar novamente (sem carga) e novamente elevar. Os testes eram sucessivos, elevavam poucas vezes ao mesmo patamar e diversas vezes entre patamares e foram realizados em duas turbinas idênticas, o que viabilizou compará-las e obter um valor médio entre medições.

A metodologia seguida para a avaliação consistiu em dividir a área das turbinas em três linhas paralelas, iniciadas no ponto perpendicular ao final da exaustão da turbina e terminando no ponto perpendicular aos geradores elétricos acoplados a turbina (linha 01) ou aos compressores de admissão de ar (linha 02). A linha 03 é externa ao pátio comum e iniciava no ponto perpendicular aos geradores elétricos e terminava no ponto perpendicular ao queimadores da turbina.

A temperatura ambiente nos testes, embora em dias diferentes, era pouco variante, entre 29 e 36°C, e a umidade relativa do ar, em todos os casos, de 70%, mas não foi monitorada durante os testes, dada a precariedade que o modelo de medição agregava. O tempo estava limpo e não havia precipitações. Os testes durarão 04 horas e foram realizados no período da manhã.

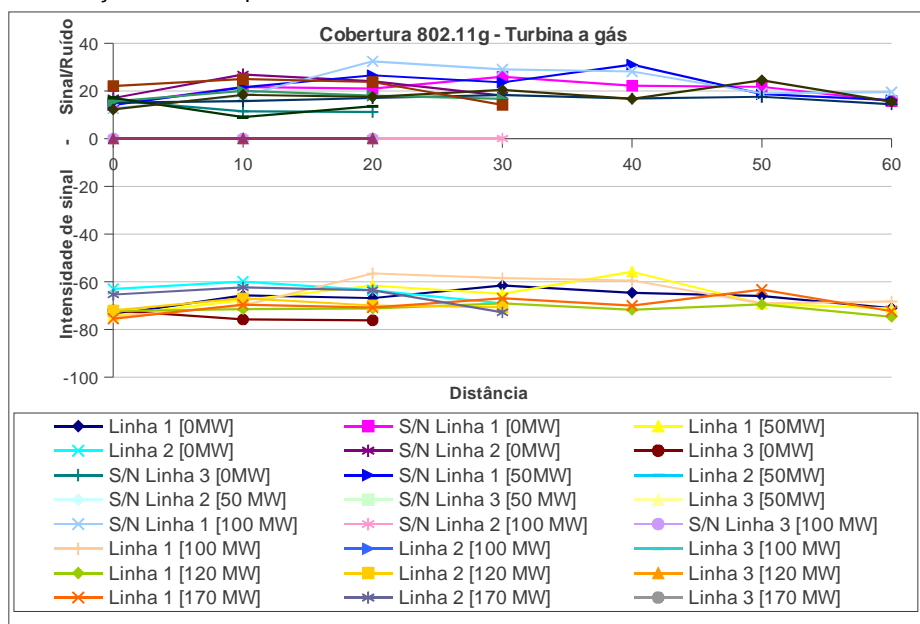
No primeiro teste, o AP foi posicionado no solo, junto a sala de controle das máquinas e em posição oposta as linhas de medição. Tal procedimento visava incluir os anteparos metálicos, equipamentos térmicos rotativos e elétricos em interseção entre as linhas de medição e o AP.

O segundo teste visava obter a influência indireta da turbina e, para tal, o AP foi instalado no alto da caldeira de recuperação da turbina 02, elevado a 20 metros, e a visada entre os pontos de medição e o AP não eram interceptados pela exaustão das turbinas.

As medições eram realizadas no período de estabilização da máquina na geração requerida e varriam as linhas propostas. Rejeitada a carga, aguardava-se o novo patamar e obtinham-se os novos valores.

As variáveis da turbina apontam o comportamento no eletrotérmico no momento da medição, conforme o Gráfico 02.

A interpolação das medições do sinal possibilitou obter o Gráfico 03.



As interpolações apontaram para uma atenuação variável entre 03 e 07dB entre as medições obtidas na área dos queimadores da turbina, motivadas pela combinação entre o fluxo interno de gases quentes e a sua irradiação térmica ao ambiente e pela inserção/retirada de equipamentos ao processo.

As medições sugerem uma curva de atenuação de 0,04dB/MW, mas não é possível atestar, pois o resfriador de ar do rotor, conforme visto na Figura 09, quando operando entre 20 e 45% da rotação nominal, estranhamente gerou um ganho de 3dB, e esta rotação correspondeu a geração entre 50MW e 100MW, e como não é possível separar as contribuições de calor do ganho associado, fica inviável atestá-la.

Em todas as medições realizadas, quer seja na subestação 138 kV, quer seja nas turbinas a gás, apontaram um patamar de ruído de 78dB, o que invalida o patamar de ruído típico de -100dB. Este elevado patamar, combinado as variações verificadas pelos atenuantes apontam para a adoção de contornos de segurança de -



65dBm, a fim de garantir a taxa mínima 1Mbps em redes 802.11g, conforme o cálculo abaixo, e com isto obter um tráfego de dados condizente com os requisitos de tempo para o controle das variáveis

Sensibilidade=patamar de ruído+Atenuação de turbinas+relação sinal ruído+Margem→  $-78+7+3+3 = -65\text{dBm}$

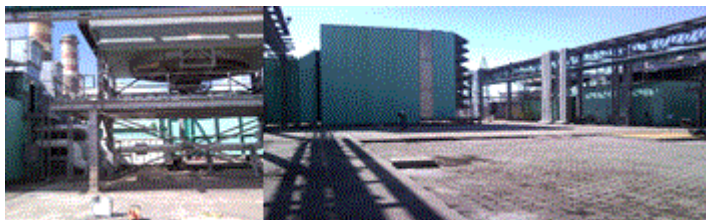


Figura 09 – Trocador de calor.

Embora a localização do AP seja central ao eixo da turbina, o comparativo também ficou prejudicado pela enorme quantidade de dutos aluminizados que compunham o pipe-rack, porém de baixa intensidade (menos de 01 dB) e atuante em todos os pontos de medição.

A análise de BER, Jitter, latência, interferência entre canais não foi possível avaliar por conta da indisponibilidade do analisador certificado para tal.

A comparação das tecnologias, no ambiente de variação térmica, não foi possível por problemas de fornecimento do fabricante do IPDECT, para os testes de rejeição.

### 3.0 - CONCLUSÕES.

O presente estudo apresenta algumas das dificuldades presentes nestes ambientes e as variações que esta cobertura pode sofrer, por si só não representa a totalidade das medidas a adotar, mas valida critérios para o posicionamento dos mesmos, posicionamentos exclusivos para determinados equipamentos, quando a cobertura for conveniente a instrumentação/telemetria destes. O presente estudo está ramificado em uma avaliação maior, sobre a avaliação destas atenuações em subestações. O presente estudo aponta para a necessidade uma avaliação de longa duração com o comparativo em diversas condições ambientais.

Dado que se tratar de uma rede ponto-multiponto, temos que:

- A necessidade de se adotar antenas diretivas desobstruídas de alto ganho, nos dispositivos remotos, em quase todas as aplicações presentes na área de geração e com derivações bem protegidas, para evitar acoplar atenuantes e aumentar a relação sinal/ruído no receptor.
- A adoção de antenas omnidirecionais só é possível na área da subestação, mas em distâncias de até 30 metros, acima dos quais somente diretivas, em função do patamar de ruído.

### 4.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(01) ITU.T, Recomendação IEEE 802.11, de 12 de junho de 2007, pg. 44.

(02) Figura obtida em: [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11g-2003](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11g-2003), no dia 08/04/2013.

(03) Saade, D.C.M, Gomes, A.G, Carrano, R.C., Luiz Cláudio Schara Magalhães, L.C.S., Albuquerque, C.V.N., Tarouco, L.R. Multihop MAC: Desvendando o Padrão 802.11s, 26º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, Pg.19.

(04) Reliable Wireless Communication, DECT Forum, pg.4, obtidoem: 19/09/2011.

(05) DECT Operation and Evolution 2007, DECT fórum, pg.3, Obtidoem 19/09/2011 no site: [www.dect.org/documents.aspx](http://www.dect.org/documents.aspx)

(06) FDMA-TDMA The Digital Enhanced Cordless Communication (DECT), ITU IMT2000, Pg.19, 2001, Obtidoem 19/09/2011 no site: [www.dect.org/documents.aspx](http://www.dect.org/documents.aspx)

(07) Couch II, L.W. Digital and Analog Communication System, Eq. 1-10, capítulo 01, pg.18, 26.