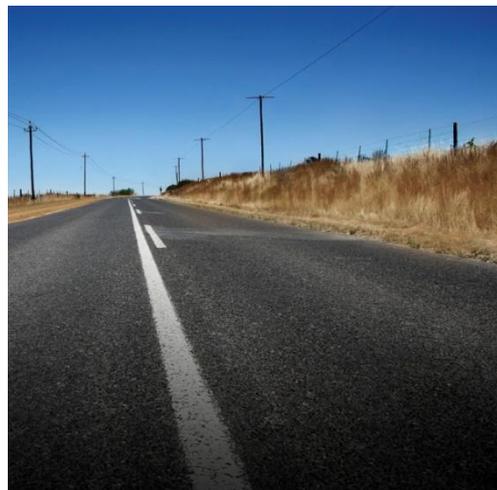




Artigo da 4RF

Vantagens da transmissão sub 3 GHz



Conteúdo

1. Visão Geral	2
2. Links entre maiores distâncias	3
3. Redução da suscetibilidade aos efeitos ambientais	6
4. Redução da infraestrutura e da manutenção	12
5. Outras opções de links	13
6. Resumo	14
7. Referências	15

1 Visão Geral

1.1 Introdução

A 4RF se especializa no projeto, desenvolvimento e fabricação de sistemas avançados de conexão ponto-a-ponto sem fio. Os sistemas da 4RF operam em faixas de frequência autorizadas, que variam de 300 MHz a 3 GHz. O principal negócio da empresa é fornecer soluções digitais de última geração para rádio de microondas que atendam os mercados sub 3 GHz de baixa¹ a média² capacidade. O Aprisa foi lançado em 1999 e, em outubro de 2003, a 4RF lançou o Aprisa XE para ampliar sua linha de produtos. Atualmente, mais de 97% da receita da empresa é gerada pela exportação de produtos Aprisa. Os sistemas da 4RF já foram implantados em mais de 130 países em todo o mundo.

1.2 Sumário executivo

Este artigo apresenta as vantagens da transmissão sub 3 GHz em relação a tecnologias de conexão comuns que operam em altas frequências. A utilização de frequências sub 3 GHz, aliada aos últimos avanços tecnológicos, ampliou significativamente o alcance de sistemas digitais de rádio terrestre. Distâncias antes consideradas impossíveis através de conexões digitais por microondas agora são facilmente alcançadas, com desempenho profissional, ultrapassando em duas ou três vezes as distâncias obtidas através microondas em frequências mais altas.

As principais vantagens da transmissão sub 3 GHz incluem sua operação sem interferências em faixas autorizadas; sua capacidade inerente para longas distâncias; e sua imunidade a várias condições atmosféricas. Além disso as necessidades reduzidas de infraestrutura geram menores custos operacionais e de capital, o que reduz o custo total de propriedade.

Este artigo detalha estas e outras vantagens propiciadas pela utilização de sistemas de conexão nesse espectro. A seguir, apresentaremos as principais vantagens:

- Links entre maiores distâncias através da redução das perdas na trajetória, além de sua operação em condições quase sem linha de vista (NLOS) e maior ganho de sistema
- Redução da suscetibilidade aos efeitos ambientais: interferência por precipitação (chuva), Harmatão e Khamsin, canalização, tempestades e ciclones
- Redução da infraestrutura e da manutenção através da redução dos equipamentos na torre e da redução dos custos operacionais

Essas vantagens, junto ao projeto de novos produtos, permite que os sistemas de conexão atendam necessidades antes impossíveis, mesmo nos ambientes mais extremos. A esperada solução de longa distância terrestre para microondas tornou-se realidade.

¹ Neste documento, entende-se por baixa capacidade velocidades de 2 Mbit/s ou inferiores

² Neste documento, entende-se por média capacidade velocidades de 2 Mbit/s a 70 Mbit/s

Vantagens sub 3 GHz

- Links entre maiores distâncias
- Redução da suscetibilidade aos efeitos ambientais
- Redução da infraestrutura e da manutenção

2 Links entre maiores distâncias

A capacidade de realizar links entre maiores distâncias através de frequências sub 4 GHz, principalmente no espectro entre 1,4 GHz e 2 GHz, foi possibilitada por várias características. A combinação desses fatores, junto aos últimos avanços tecnológicos, possibilita a realização de links em distâncias superiores a 200 km.

Esta seção apresentará as principais vantagens proporcionadas por links sub 3 GHz, as quais permitem conectar distâncias superiores às de sistemas de alta frequência:

- Redução das perdas na trajetória
- Maior ganho de sistema
- Imunidade quase total a interferências por precipitação - detalhada na seção de efeitos ambientais

2.1 Redução das perdas na trajetória

As perdas na trajetória de um link são representadas pela soma dos seguintes itens:

- Perda no espaço livre (FSL)
- Perdas por obstrução e difração: operação em trajetórias quase sem linha de vista (NLOS)
- Perdas por gases atmosféricos

Os efeitos de todos os fatores listados acima aumentam significativamente à medida que a frequência de transmissão aumenta.

Perda no espaço livre

A perda no espaço livre é a perda que ocorre em uma trajetória totalmente livre de objetos ou obstruções que possam absorver ou refletir a energia do rádio, as quais ocorrem devido à difusão ou à perda de foco da onda de rádio.

A perda no espaço livre é proporcional ao quadrado da distância entre o transmissor e o receptor e proporcional ao quadrado da frequência de transmissão. A fórmula para o cálculo da FSL em dB é:

- $FSL \text{ (dB)} = 20 * \text{Log}_{10} \text{ (frequência em MHz)} + 20 * \text{Log}_{10} \text{ (distância em milhas)} + 36,6$ ou,
- $FSL \text{ (dB)} = 20 * \text{Log}_{10} \text{ (frequência em MHz)} + 20 * \text{Log}_{10} \text{ (distância em quilômetros)} + 32,44$

A Tabela 1 apresenta a FSL para uma trajetória de 50 km recentemente comissionada, em várias frequências.

Tabela 1: Perda no espaço livre para um link de 50 km em várias frequências

FREQUÊNCIA (MHz)	FSL (dB)
1450	129
2100	133
6700	143
7500	144
18000	152

Perdas por obstrução e difração: operação em trajetórias quase sem linha de vista

Sistemas com frequências sub 3 GHz com equalização adaptativa integrada podem operar em trajetórias com altos níveis de perdas por obstrução ou difração. A 4RF já implantou vários sistemas nessas faixas com perdas por difração superiores a 20 dB.

Como os espaçamentos de canais e as perdas por obstrução em faixas de alta frequência são maiores, os critérios de projeto são mais estritos.

As perdas por difração ocorrem devido às atenuações resultantes de obstruções de linha de vista (LOS) ou de Fresnel. O nível de atenuação depende do tipo e da extensão da obstrução, assim como da frequência de operação.

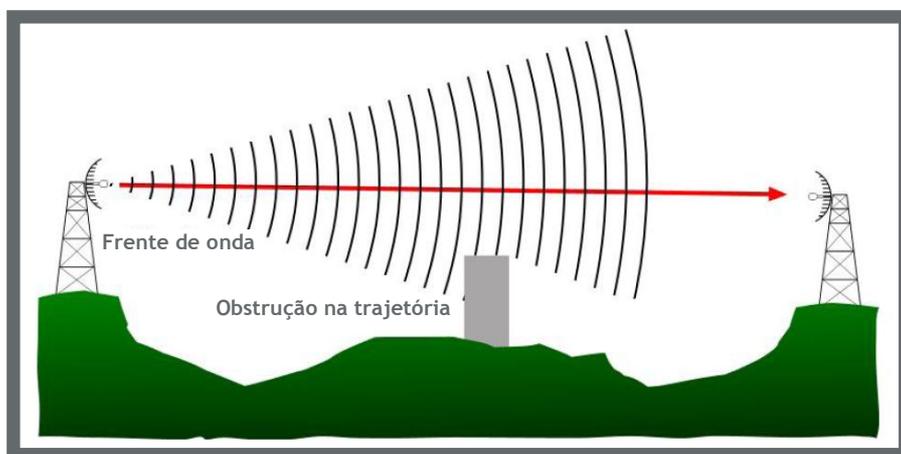


Figura 1: Exemplo de difração por obstrução de Fresnel

Frequências mais altas têm menores comprimentos de onda e, portanto, menores zonas de Fresnel. Entretanto, como a zona de Fresnel é menor, qualquer obstrução de Fresnel gera grandes impactos no desempenho do link.

À medida que a frequência de operação aumenta, os efeitos de obstruções de Fresnel e de LOS tornam-se mais severos. Em frequências sub 3 GHz, as perdas por obstruções de Fresnel causadas por edifícios ou árvores são mínimas ^[Ref 1].

Resumindo, quando comparados a sistemas com frequências mais altas, os sistemas que operam em frequências mais baixas suportam obstruções de linha de vista parciais, ou até mesmo diretas, sendo que vários tipos de obstrução geram pouco ou nenhum impacto no desempenho.

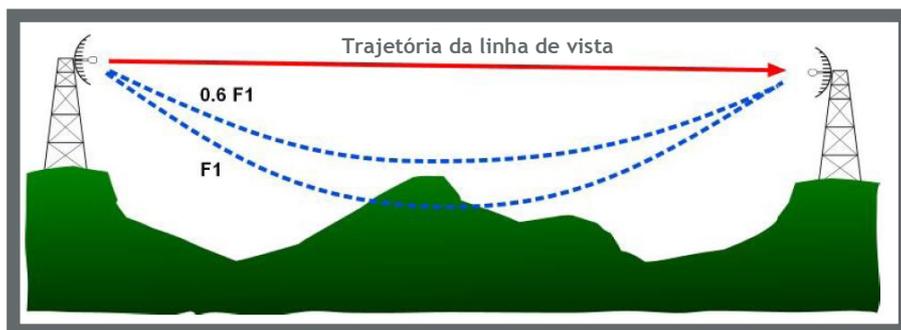


Figura 2: Obstrução de Fresnel fora da faixa de 0,6 F1

Como princípio básico, não devem haver obstruções dentro da faixa de 0,6 F1 para frequências mais altas (consulte a Figura 2). Entretanto, em frequências sub 3 GHz, trajetórias que tenham linha de vista direta e, em alguns casos, obstrução de Fresnel total, podem proporcionar desempenho profissional.

A experiência na área é muito importante para que links de longa distância por microondas possam ser realizados com sucesso. Ela é especialmente crucial no planejamento de trajetórias com obstruções.

Perdas por absorção de gases atmosféricos

Ao passarem pela troposfera, as transmissões interagem com moléculas de gás da atmosfera. Essas interações geram perdas de energia ou força na transmissão, causando atenuações.

Mesmo que a maioria dos gases possa ser ignorada para frequências comuns de microondas, o Oxigênio gera impactos em frequências de 57-60 GHz e 119 GHz. No nível do mar, essas perdas atingem 15 dB por km em frequências entre 57 GHz e 63 GHz ^[Ref 2].

2.2 Maior ganho de sistema

O ganho de sistema para equipamentos de rádio digital é a diferença em dB entre a potência de saída e o limite (threshold) do receptor. Geralmente, o limite do receptor é medido com uma sensibilidade de BER de 10^{-6} ou 10^{-3} .

A partir de uma análise das especificações publicadas, a potência de saída e a sensibilidade do receptor podem ser medidas de várias maneiras diferentes. Alguns fabricantes a medem a partir da saída do transmissor e da entrada do receptor, ignorando as perdas por ramificação.

Sistemas com frequências mais baixas normalmente apresentam maiores ganhos de sistema (para canais de RF com tamanhos iguais) devido a:

- Potências de saída maiores para o mesmo esquema de modulação
- Sensibilidades de recepção menores para o mesmo esquema de modulação

Um ganho maior para o sistema permite a utilização de antenas menores, proporciona maior disponibilidade e / ou maiores distâncias de conexão. O uso de antenas menores reduz os custos com instalação, aluguel de torres e com a aquisição das antenas em si.

A Tabela 2 apresenta o ganho e a capacidade do sistema com BER de 10^{-6} para rádios com um canal de 14 MHz e 16 QAM.

Tabela 2: ganho do sistema x frequência para um sistema de 14 MHz, 16 QAM ^[REF 6]

Frequência (MHz)	Ganho do sistema (dB)	Capacidade (E1)
2000	111	22
7000	104	16

3 Redução da suscetibilidade aos efeitos ambientais

Esta seção abrange as principais vantagens proporcionadas pela transmissão sub 3 GHz relativas a vários efeitos ambientais. A principal vantagem da operação sub 3 GHz é a capacidade de expandir significativamente as distâncias de conexão ou de aumentar a disponibilidade sob condições adversas. Enquanto links com frequência mais alta sofrem interferências ou são até mesmo interrompidos sob certas condições, sistemas sub 3 GHz não sofrem quaisquer dos efeitos das mesmas condições. Os principais problemas ambientais são:

- Precipitação (chuva)
- Harmatão e Khamsin
- Canalização
- Tempestades e ciclones

3.1 Precipitação (chuva)

A interferência da chuva é um problema conhecido para os links por microondas. A absorção ou dispersão da energia das frequências de rádio pelas gotas de chuva causa a atenuação do nível do sinal nos sistemas de conexão. Outros tipos de precipitação, tais como neblina e neve, também podem causar problemas.

Os efeitos de interferência pela chuva não são significativos para frequências menores que 4 GHz. A Figura 3 apresenta a atenuação em dB/km para frequências de transmissão na região N da UIT:

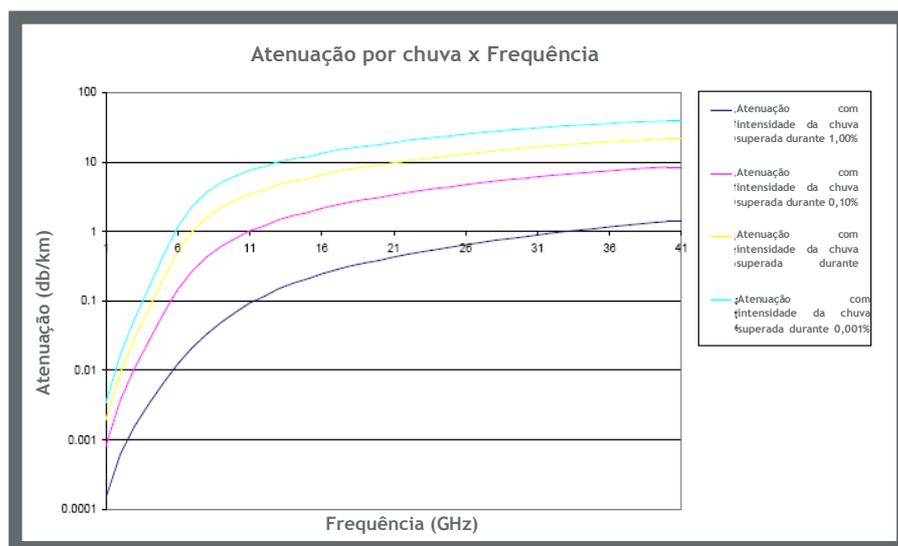


Figura 3: Atenuação x frequência para a zona climática N da UIT (35 a 180 mm por hora) [Ref 3, 4, 5]

A Tabela 3 apresenta a atenuação da chuva considerando uma trajetória de 50 km com uma taxa de chuva de 60 mm/h afetando 100% da trajetória, usando polarização vertical ^[Ref 5].

Devido à atenuação pela chuva, sistemas com frequências mais altas devem incorporar margens maiores para interferência em áreas onde predominam chuvas intensas. Isso resulta na demanda por antenas maiores e por suas dispendiosas estruturas de suporte, sendo que as distâncias possíveis tornam-se, em geral, significativamente reduzidas.

Em frequências sub 3 GHz, a interferência da chuva pode ser ignorada.

3.2 Harmatão e Khamsin

Os termos Harmatão e Khamsin se referem a tempestades de poeira que geram um efeito de neblina devido às suas finas partículas de poeira (com tamanhos entre 0,5 e 10 micrômetros).

O Harmatão é um vento alísio do oeste da África que se origina no Sahara e se desloca para o sul, para o Golfo da Guiné, e às vezes chega até à América do Norte, em ocorrências intensas. O Harmatão é às vezes chamado de "doutor", devido à queda de temperatura que o mesmo traz durante ondas intensas de calor. O Harmatão ocorre anualmente, entre o final de novembro e meados de março.

O Khamsin é o vento que sopra do Sahara para o Egito, ou do deserto Árabe para as áreas vizinhas. Também é conhecido como o "vento dos cinquenta dias", pois acredita-se que ele ocorre durante cinquenta dias por ano. O Khamsin normalmente ocorre em duas épocas: entre março e maio e entre setembro e novembro. Fenômenos similares ocorrem em várias outras regiões, que incluem:

- Austrália
- China
- México
- Mongólia
- Marrocos
- Rússia
- EUA (nas Grandes Planícies)

A UIT não possui recomendações específicas para o cálculo das atenuações resultantes de tempestades de poeira. Vários estudos já foram realizados em links operacionais para a determinação dos efeitos de tempestades de poeira em sistemas de conexão ^[Ref 8].

Esses estudos confirmaram que os sistemas de conexão apresentam os seguintes sintomas sob o Harmatão:

- Ocorrência do dobro de eventos de interferência
- Intensidade das interferências duas ou três vezes maior do que em condições normais

Tabela 3: Frequência x atenuação da chuva para uma trajetória de 50

FREQUÊNCIA (MHz)	Atenuação (dB)
2500	0.6
7000	27.2
10000	78

Os efeitos das tempestades de poeira na propagação de RF são uma combinação entre:

- Absorção e dispersão do sinal de RF por partículas de poeira
- Canalização devido a inversões de temperatura

A atenuação por poeira para uma dada visibilidade óptica (densidade da massa da poeira) aumenta de maneira proporcional à frequência do rádio e à umidade das partículas de poeira. Os problemas de canalização e interferência que o Harmatão causa à propagação de microondas exigem atenção especial de engenharia no planejamento do link.

A atenuação por poeira normalmente afeta sinais com frequência igual ou superior a 10 GHz. Na ocorrência de tempestades de poeira, utiliza-se a visibilidade em metros para calcular a atenuação resultante em quilômetros. Em tempestades de poeira muito intensas, a visibilidade pode ser de até 10m. A atenuação resultante seria em torno de 1,8 dB/km, considerando valores padrão de umidade e tamanho de partículas.

Assim como ocorre na atenuação por chuva, as transmissões a 3 GHz são menos suscetíveis a atenuações por tempestades de poeira, sendo que esse impacto pode ser geralmente ignorado.

3.3 Canalização

A canalização é o enclausuramento de energia de RF em uma camada isolada da atmosfera inferior (troposfera). As canalizações são principalmente causadas por inversões de temperatura (uma camada de ar quente sobre uma camada de ar frio), normalmente imprevisíveis e difíceis de quantificar durante a fase de projeto do sistema de conexão. Elas podem gerar interferências multitrajetória refrativas e reflexivas em curto e longo prazo (>3 segundos de duração).

Camadas de canalização intensas ocorrem normalmente em áreas costeiras e podem inviabilizar as transmissões por microondas em certas áreas geográficas. As seguintes localidades são conhecidas por seus problemas de canalização:

- A costa do golfo da África (especialmente na Nigéria)
- Golfo do México
- Índia
- Golfo Pérsico e Árabe
- Áreas costeiras do mediterrâneo
- Áreas costeiras nos trópicos e subtropicais

Vários problemas são causados pela canalização de sinais de RF em links ponto-a-ponto ^[Ref 9]. Os mais comuns são:

- Variação do nível do sinal recebido
- Distorção da fase devido a multitrajetória
- Interferência entre sistemas por overshoot

Varição do nível do sinal recebido

Variações no sinal recebido ocorrem devido ao enclausuramento de parte da energia da RF na canalização. Os métodos mais comuns usados no combate aos efeitos da canalização em sistemas de conexão de alta frequência incluem o aumento do ganho do sistema, a redução da distância do link ou o aumento da inclinação da trajetória.

Distorção da fase devido a multitrajetória

A distorção da fase é resultado da recepção de sinais defasados. Reflexões ao longo da trajetória são a causa mais comum de multitrajetórias. Em condições de canalização, o sinal refratado e defasado pode apresentar um nível mais alto do que o desejado para a fase.

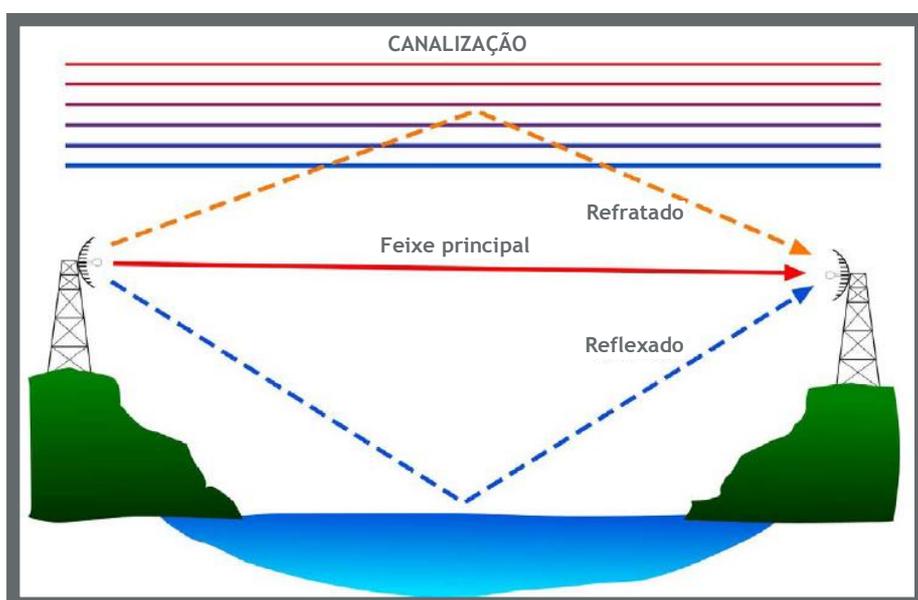


Figura 4: Multitrajetória por refração e reflexão

Interferência entre sistemas

Os sinais podem percorrer caminhos muito maiores sob efeitos de canalização do que em condições normais ^[Ref 9]. Isso pode gerar interferência entre sistemas co-canalizados, interação essa que normalmente seria impossível.

Frequência de canalização

Para que a canalização ocorra, a frequência da onda deve estar acima de um valor crítico, conhecido como frequência mínima de canalização. O valor da frequência mínima de canalização é determinado pela profundidade física da canalização e pelo perfil de refração (ou taxa de alteração de pressão das camadas atmosféricas). Infelizmente, não há um método confiável para a previsão da profundidade das canalizações antes de sua ocorrência.

Todas as frequências acima de 50 MHz estão sujeitas aos efeitos de canalização, sendo que os mesmos são mais intensos em frequências mais altas ^[Ref 10].

3.4 Tempestades e ciclones

A Tabela 4 apresenta as temporadas e a média de tempestades e ciclones para cada área:

BACIA	Início da temporada	Final da temporada	Tempestades tropicais >34 nós	Ciclones tropicais >63 nós	Ciclones tropicais de categoria 3+ >95 nós
Pacífico noroeste	Abril	Janeiro	26.7	16.9	8.5
Sul-indiana	Outubro	Maio	20.6	10.3	4.3
Pacífico nordeste	Maio	Novembro	16.3	9.0	4.1
Atlântico norte	Junho	Novembro	10.6	5.9	2.0
Pacífico sudoeste	Outubro	Maio	10.6	4.8	1.9
Norte-indiana	Abril	Dezembro	5.4	2.2	0.4

Tabela 4: Temporadas e médias de tempestades ^[Ref 7]

Os desafios relativos aos links de RF em áreas suscetíveis a tempestades são causados por dois fatores principais:

- Ventos de alta velocidade
- Chuvas intensas

Ventos de alta velocidade

Ventos de alta velocidade tensionam as estruturas de suporte. Quanto maior a superfície de contato com o vento, maior será a força exercida sobre a estrutura de suporte. Em áreas que sofrem tempestades frequentes, tornam-se necessárias estruturas de suporte maiores e independentes.

As rajadas de vento também podem desalinhar as antenas. O desalinhamento causa reduções ou perdas no sinal recebido em ambas extremidades do link.

As antenas parabólicas de grade usadas em operações sub 3 GHz oferecem pouca resistência ao vento, normalmente em torno de um terço da resistência apresentada por antenas de alta frequência maciças. Isso resulta na utilização de estruturas de suporte menores para a implantação de novos serviços, ou na implantação de mais serviços através da infraestrutura existente, sem ultrapassar o limite de carga da estrutura de suporte.

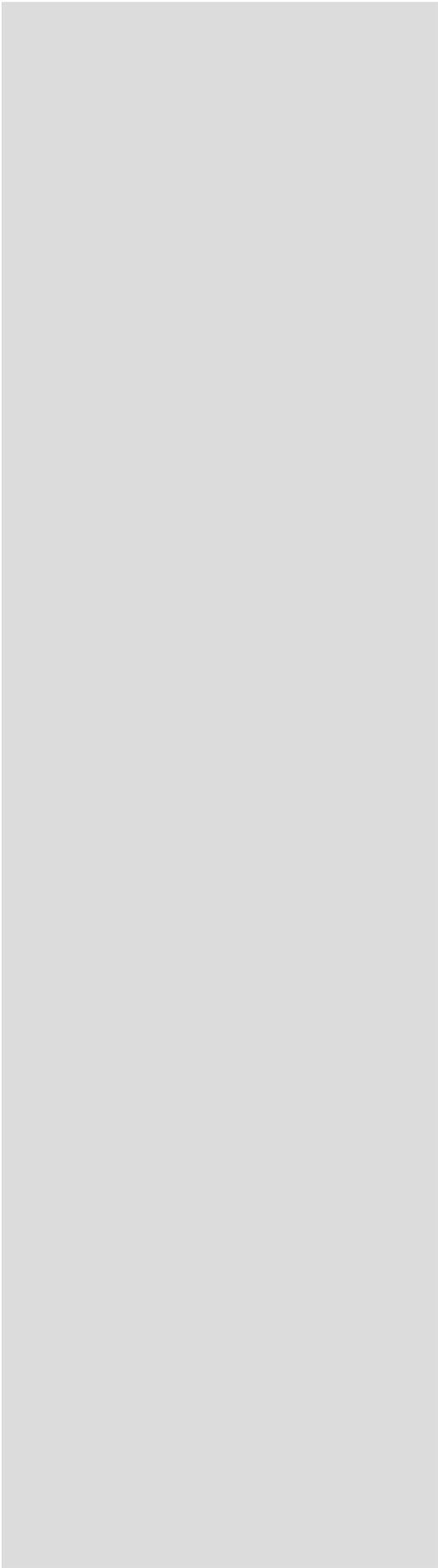
As antenas de grade pesam muito menos que antenas maciças com o mesmo tamanho. Essa característica facilita a instalação e reduz as exigências de transporte. Por gerarem menores custos, a utilização de antenas de grade reduz os custos de implantação dos serviços. Esse fato pode também reduzir significativamente os custos gerais de projeto quando aliados à redução dos gastos com estruturas de suporte.

Chuvas intensas

A atenuação por chuva é um problema conhecido para os links por microondas, como foi descrito acima.

Na prática, os sistemas sub 3 GHz têm as seguintes vantagens sobre sistemas de frequências mais altas em áreas nas quais deve-se considerar a ocorrência de tufões, ciclones e tempestades:

- Links entre maiores distâncias
- Redução dos requisitos de carga e infraestrutura
- Maior disponibilidade para o sistema em meio a tempestades



4 Redução da infraestrutura e da manutenção

Sistemas sub 3 GHz proporcionam várias vantagens relativas a infraestrutura e custos operacionais. A mais importante dessas vantagens engloba a redução da carga nas torres e dos custos operacionais, como foi discutido nessa seção.

4.1 Redução dos requisitos de carga e de infraestrutura para as torres

A utilização de antenas Yagi e de pequenas antenas parabólicas de grade reduz os requisitos de carga para a infraestrutura de suporte frente às antenas parabólicas maciças utilizadas em sistemas com frequências mais altas.

Postes ou mastos estaiados econômicos podem ser usados no suporte de várias antenas sub 3 GHz. Antenas parabólicas maciças normalmente requerem dispendiosas estruturas com sustentação própria.

A seguir, apresentaremos alguns pontos para comparação:

- Antenas parabólicas maciças normalmente possuem três vezes o peso de antenas de grade
- Antenas parabólicas maciças geralmente não são adequadas para mastos ou postes estaiados devido à carga na torre (normalmente três vezes maior que a carga de antenas parabólicas de grade) ou à flexão excessiva das estruturas estaiadas para antenas com feixes estreitos.
- A aquisição dos locais pode ser agilizada devido à utilização de estruturas de suporte pequenas e econômicas
- O impacto visual é drasticamente reduzido através de estruturas de suporte pequenas e econômicas
- A utilização de estruturas de suporte ocupadas ou cheias poderá ser otimizada devido à redução da carga na torre

O custo total da implantação do sistema pode ser reduzido significativamente através de sistemas de conexão sub 3 GHz.

4.2 Redução dos custos operacionais

Os sistemas sub 3 GHz permitem reduções significativas nos gastos operacionais e de manutenção. As vantagens mais significativas são:

- Não há necessidade de realizar manutenção de rotina - Instale e esqueça
- Eliminação de manutenções em unidades externas (ODU)
- Sistemas de alimentação despressurizados eliminam gastos com manutenção de equipamentos compressores e guias de ondas

Os custos operacionais e de rotina podem ser reduzidos de maneira mensurável através da utilização de sistemas sub 3 GHz.

Antenas leves para sistemas sub 3 GHz



5 Outras opções de links

Abaixo, apresentaremos um breve resumo das tecnologias alternativas de transmissão comumente utilizadas.

5.1 Rádio ponto-a-ponto não autorizada

- Distância limitada por interferências
- Diversas fontes potenciais de interferência (fornos microondas, telefones sem fio, LANs sem fio)
- Segurança precária e desempenho variável (disponibilidade afetada por outros usuários)
- Implantação rápida (não é necessária uma autorização)

5.2 Rádio digital de microondas de alta frequência (>6 GHz)

- Sujeita a interferências por Harmatão, chuvas e outros tipos de precipitação
- Infraestrutura ampla (torres)
- Gastos elevados com antenas (antenas parabólicas maciças)
- Solução adequada para pequenas distâncias e altas capacidades
- Gastos operacionais (OPEX, manutenção de unidades externas)

5.3 Infraestrutura de satélites

- Área de frequência menor e custos operacionais altos
- Suscetibilidade a condições climáticas
- Impactada pela ausência de energia solar
- Desafios de capacidade - assimetria de satélites (velocidades médias de downlink e velocidades baixas de uplink)
- Latência alta

Mesmo que as tecnologias descritas acima possam ser bem aproveitadas em aplicações específicas, a utilização de frequências sub 3 GHz junto a esquemas de modulação espectralmente eficientes faz com que os sistemas de conexão da 4RF sejam flexíveis o bastante para atender a maioria das aplicações. As opções de interface suportam os requisitos de voz, TDM e Ethernet em uma única plataforma, eliminando a necessidade de equipamentos externos.

6 Resumo

As considerações acima podem ser resumidas em uma frase:

Sistemas de conexão sub 3 GHz permitem que os usuários realizem conexões entre maiores distâncias e ainda assim exigem menos gastos com implantação.

As vantagens proporcionadas em termos de disponibilidade, distância e operação em condições quase sem linha de vista (NLOS), aliadas à redução da infraestrutura, permitem sua aplicação em uma gama maior de locais e reduzem os gastos com implantação.

A obtenção de consultoria prévia é crucial para o planejamento de qualquer sistema de rádio de microondas de longa distância. As considerações econômicas e de engenharia possíveis durante o projeto de um sistema de transmissão para ambientes de conexão adversos são numerosas. É crucial contar com a consultoria de um fornecedor reconhecido, com engenheiros especializados em trajetórias, para a obtenção de uma solução ótima de longo prazo que apresente menores custos operacionais e de capital.

7 Referências

- [1] ITU-R: Propagation by Diffraction. Recommendation P.526
- [1] ITU-R: Attenuation by Atmospheric Gases. Recommendation P.676
- [3] ITU-R: Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line of site systems. Recommendation P.530
- [4] ITU-R: Characteristics of precipitation for propagation modeling. Recommendation P.837
- [5] ITU-R: Specific attenuation model for rain for use in prediction methods. Recommendation P.838
- [6] Alcatel-Lucent 9400 AWY Digital Microwave Radio Links data sheet WLS7526071005 (10)
- [7] Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Hurricane Research Division: "Frequently Asked Questions: What are the average, most, and least tropical cyclones occurring in each basin?"
- [8] Department of Physics, University of Calabar, Nigeria: "Microwave signal attenuation in Harmattan weather along Calabar-Akampkpa Line-of-Sight link" research paper by O. E. Eyo, A. I. Menkiti, S. O. Udo
- [9] Radio Spectrum Research Group, Canberra University: "Implications of the evaporation duct for microwave radio path design over tropical oceans in Northern Australia" A. Kerans, A.S. Kulesa, E. Lensson, G. French and G.S. Woods
- [10] ITU/INA Workshop: Spectrum Monitoring measurements and techniques - Space wave propagation

Sobre a 4RF



Presentes em mais de 130 países, as soluções da 4RF são implantadas por empresas de petróleo e gás, organizações internacionais de auxílio, segurança pública, exércitos e organizações de segurança, empresas de transporte e serviços públicos, emissoras, empresas privadas e operadoras de telecomunicações. Todos os produtos da 4RF são otimizados para suportar climas extremos e terrenos irregulares, assim como tecnologias analógicas legadas, dados seriais, PDH e IP.



26 Glover Street
Ngauranga
Wellington 6035
NOVA ZELÂNDIA

Telefone +64 4 499 6000
Fax +64 4 473 4447
Correio electrónico sales@4rf.com
www.4rf.com