

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GERALDO MAGELA CAMPANI DE CASTRO FIGUEIREDO

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**PROJETO DE REDES WIRELESS PARA O PLANO NACIONAL DE
BANDA LARGA**

Porto Alegre

Julho, 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**PROJETO DE REDES WIRELESS PARA O PLANO NACIONAL DE
BANDA LARGA**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADORA: LIANE LUDWIG LODER

Porto Alegre
Julho, 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GERALDO MAGELA CAMPANI DE CASTRO FIGUEIREDO

**PROJETO DE REDES WIRELESS PARA O PLANO NACIONAL DE
BANDA LARGA**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica, e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Liane Ludwig Loder

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Liane Ludwig Loder

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Álvaro Augusto Almeida de Salles, UFRGS

Doutor pela University of London, Londres, Inglaterra

Eng. Lierson José Godinho Brigido

Bacharel pela Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, Brasil

Coordenador da Comissão de Graduação: _____

Chefe do Departamento: _____

Porto Alegre, julho de 2011

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, por todo apoio dado durante meus anos de faculdade, a minha namorada por ter suportado ao meu lado o término do curso, a minha orientadora pela ajuda em todos os momentos de escuridão na hora da composição do PROJETO DE DIPLOMAÇÃO e a Digitel por todos ensinamentos durante todo o período como estagiário e funcionário na empresa.

AGRADECIMENTOS

À professora Dr. Liane Ludwig Loder, pela orientação nesse projeto

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFRGS

Aos colegas pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso

À minha família

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso está focado no projeto de redes wireless, tendo como base um estudo de caso que será uma rede projetada para a Telebrás pela empresa Digitel S/A. Serão detalhadas as metodologias utilizadas nesse projeto de engenharia para essa aplicação, respeitando as diretrizes do Plano Nacional de Banda Larga, instituído pela Telebrás, bem como o trabalho que a Digitel S/A está realizando na área de engenharia de rádio frequência.

Palavras-chaves: PNBL. Enlace. Telecomunicações.

ABSTRACT

This conclusion of course work is focused on the design of wireless networks, based on a case study that will be a network designed for the company Telebrás by the Digitel S/A. The methodologies used will be detailed in engineering design for this application, respecting the guidelines of the National Broadband Plan, established by Telebrás, and the work that Digitel S/A is doing in the area of radio frequency engineering.

Key-words: PNBL. Links. Telecommunications.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. Telebrás hoje	2
3. Descrição do projeto PNBL	3
4. Digital no projeto PNBL	5
5. O PROJETO DE RÁDIO ENLACE: fundamentação teórica	6
5.1 Meio de transmissão	6
5.2 Faixas de frequência.....	7
5.3 Refração da onda eletromagnética.....	8
5.4 Raio terrestre equivalente.....	9
5.5 Raio de Fresnel	11
5.6 Análise da prospecção do terreno	12
5.7 Cálculo das alturas mínimas de torre.....	13
5.8 Cálculo dos níveis de propagação	14
5.8.1 Cálculo da distância do Enlace	14
5.8.2 Cálculo do Azimute e do ângulo vertical.....	15
5.8.3 Atenuação de espaço livre.....	16
5.8.4 Perda por absorção atmosférica	16
5.8.5 Nível de sinal Recebido e Margem de desvanecimento.....	17
5.8.6 Indisponibilidade devido a multipercusso.....	18
5.8.7 Atenuação devido a chuva	19
5.8.8 Cálculo da Indisponibilidade.....	20
5.8.9 Reflexão	20
5.9 Cálculo dos níveis interferentes.....	21
6. Estudo de Caso – projeto da rota infraero galeão	23
6.1 Análise prévia.....	23
6.2 Análise do ponto de repetição.....	26
6.3 Limitação da altura das torres (PRÉ-COMAR).....	28
6.4 Análise dos pontos de reflexão (Path Loss)	34
6.5 Cálculo dos índices de propagação (Path Loss)	35
6.6 Cálculo dos níveis interferentes (Wings Planner).....	39
6.7 Cálculo das distâncias entre as antenas.....	40
7. CONCLUSÕES	42
8. ANEXOS	43
8.1 HISTÓRICO TELEBRÁS	43
8.1.1 Anos 50	43
8.1.2 Anos 60	43
8.1.3 Anos 70	44
8.1.4 Anos 80	44
8.1.5 Anos 90	45
8.2 Apresentação dos Rádio DSR	45
8.2.1 Descrição dos modelos.....	49
8.3 Referencial teórico	53
8.3.1 Onda Eletromagnética.....	53
9. BIBLIOGRAFIA	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Faixas de frequências e seus usos.....	7
Figura 2: Ilustração do efeito da refração	9
Figura 3: Raio equivalente da Terra.....	9
Figura 4: Variação do Kmínimo com a distância (REC P 530-9 do ITU-R).....	10
Figura 5: Frentes de onda no elipsoide de Fresnel.....	11
Figura 6: Ilustração do elipsoide da primeira zona de Fresnel	12
Figura 7: Calculo das alturas utilizando teste de prospecção	13
Figura 8: Rede de interferência.....	21
Figura 9: Possíveis PoP's para atendimento à Galeão	23
Figura 10: Perfil entre o PoP Grajau e o aeroporto Galeão	24
Figura 11: Perfil entre o PoP São José e o aeroporto Galeão	25
Figura 12: Perfil entre o PoP Duque de Caxias e o aeroporto Galeão.....	25
Figura 13: Ponto repetidor	27
Figura 14: Estruturas verticais existentes	27
Figura 15: Perfil PoP_Repetidora	28
Figura 16: Perfil Repetidora_Galeão	28
Figura 17: Distância entre PoP e as cabeceiras do aeroporto Galeão	29
Figura 18: Zona de proteção VOR.....	31
Figura 19: Distância entre a repetidora e as cabeceiras do aeroporto Galeão	32
Figura 20: Distância entre Galeão e as cabeceiras do aeroporto Galeão	33
Figura 21: Superfície de reflexão.....	34
Figura 22: Idealização das linhas de reflexão.....	35
Figura 23: Plano de frequência PoP Duque de Caxias_Repetidora.....	39
Figura 24: Plano de frequência Repetidora_Galeão	40
Figura 25: Unidade ODU.....	48
Figura 26 : Unidade ODU	48
Figura 27: Propagação das ondas eletromagnéticas.....	54
Figura 28: Campo elétrico, campo magnético e sentido da propagação.....	54
Figura 29: Polarização da onda.....	55
Figura 30 Conceito de frente de onda.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensionamento PoP Duque de Caxias_Repetidora.....	37
Tabela 2: Dimensionamento Repetidora_Galeão	38

LISTA DE SIGLAS

TELEBRÁS: Telecomunicações Brasileiras S/A

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações

COMAR: Comando da Aeronáutica

ELF: Extremely Low Frequency

VLF: Very Low Frequency

LF: Low Frequency

MF: Medium Frequency

HF: High Frequency

VHF: Very High Frequency

UHF: Ultra High Frequency

SHF: Super High Frequency

EHF: Extremely High Frequency

ITU-R: International Telecommunication Union – Radio Communication Sector

SITAR: Sistema de Informações Técnicas para Administração das Radiocomunicações

SNMP: Simple Network Management Protocol

FUST: Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações

PNBL: Plano Nacional de Banda Larga

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda de uso de canais de voz e de transmissão de dados, no mundo, vem modificando as necessidades de transmissão de maior volume de informação por meio de sinais de rádio.

Conforme as determinações da Anatel, a necessidade de atender todas as regiões com serviço de telecomunicações tem exigido das operadoras a ampliação da área de cobertura geográfica dos meios de comunicação sem fio.

Visando o atendimento em áreas remotas a Telebrás, junto ao Governo Federal, elaborou o Plano Nacional de Banda Larga.

Como boa parte das subestações de energia no Brasil apresentam fibra óptica em conjunto com suas linhas de transmissão, a proposta da Telebrás é criar POP's (centros de distribuição de dados) para atender os municípios alvos desse projeto com internet a preços módicos.

Nesse contexto, uma das responsabilidades da Digitel S/A é apresentar propostas de solução wireless que viabilize a comunicação entre POP's e os municípios correspondentes. Com esse objetivo, a Digitel S/A já esquematizou todo o anel sudeste, tematrizado neste Projeto de Diplomação.

Esses projetos de radioenlaces são realizados a partir da elaboração de gráficos de perfis de terreno obtidos em cartas topográficas e modelos de cálculo definidos pela Recomendação ITU-R P 530-12 (2007).

Pela visualização gráfica dos perfis de terreno é possível avaliar a intervisibilidade e dimensionar o enlace de rádio, automatizando o procedimento manual por meio do modelamento efetuado pelo software PathLoss, especialmente desenvolvido e testado para visualização de dados cartográficos, que utiliza, como base de informações, fotos capturadas pelos satélites da NASA.

O objetivo específico desse Projeto de Diplomação é apresentar, para uma das rotas do anel sudeste, o procedimento padrão adotado pela Digitel para os cálculos de redes wireless.

2. TELEBRÁS HOJE

O Fundo para Universalização do Sistema de Telecomunicações (FUST), na sua constituição, restringia a aplicação dos recursos apenas para projetos ligados à rede comutada de voz, e só poderia ser direcionado através de um elo estatal. O fundo é constituído pela cobrança de uma pequena porcentagem nas contas de telecomunicações pagas pelos consumidores e seu objetivo inicial seria o de subsidiar operações das empresas providas em regiões longínquas e economicamente inviáveis. Dada a dificuldade de utilização dos recursos – que em dezembro de 2007 somavam seis bilhões de reais – a Anatel, juntamente com as concessionárias, definiu trocas de obrigações pendentes destas empresas, pelo apoio ao projeto de mudança do Plano Geral de Outorgas (PGO), que viabilizaria, entre outros, uma utilização mais ampla dos recursos do FUST, de forma a atender as novas necessidades da sociedade e as tecnologias atuais, como a ampliação da rede de internet banda larga.

Com um aporte de 200 milhões de reais no fim de 2007 por parte do Governo Federal, a Telebrás tornou-se a empresa gestora dos recursos FUST e pretende ser administradora de uma extensa malha de fibras ópticas já implantadas nas torres da Eletrobrás, pertencentes à falida Eletronet, e ainda redes de fibra ótica da Petrobrás. Assim, a Telebrás terá a responsabilidade de implementar e gerenciar uma grande infraestrutura nacional que permitirá atender as localidades mais remotas do país com inclusão digital às populações atendidas pela rede pública de ensino, antes da administração pública, entre outros, além de fornecer (no atacado) interconexão aos provedores de última milha.

Claro que o projeto encontrou resistência em setores da sociedade que enxergam essa manobra do Governo Federal como uma possível reestatização do sistema de telecomunicações brasileiro. Independente dessa resistência, a Telebrás foi reativada, após fato relevante emitido pela empresa à Comissão de Valores Mobiliários (CVM) no dia 4 de maio de 2010. Assim, no dia 13 do mesmo mês no Diário Oficial da União foi publicado o decreto nº 7175, o qual institui o Plano Nacional de Banda Larga (PNBL). Dessa forma, as responsabilidades da Telebrás serão:

- implementar a rede privativa de comunicação da Administração Pública Federal.
- prestar apoio e suporte as políticas públicas de conexão à Internet em banda larga para universidades centros de pesquisa, escolas, hospitais, postos de atendimento, telecentros comunitários e outros pontos de interesse público.

- prover infraestrutura e redes de suporte a serviços de telecomunicações prestados por empresas privadas, Estadosm Distrito Federal, Municípios e entidades sem fins lucrativos
- prestar serviço de conexão à internet em banda larga para usuários finais, apenas e tão somente em localidade onde inexista oferta adequada daqueles serviços.

3. DESCRIÇÃO DO PROJETO PNBL

Para a implementação do Plano Nacional de Banda Larga a Telebrás lançou diversos editais de consulta pública para buscar empresas que estivessem dentro dos parâmetros do projeto. Assim, foram lançados 9 editais contemplando todos os serviços que deverão ser realizados durante a fase de implantação do Plano Nacional de Banda Larga.

Logo abaixo seguem os editais lançados e seus vencedores:

- pregão 22010: realizado com a finalidade de contratar mediante registro de preco de solucao de infraestrutura basica com fornecimento de conteineres, gabinetes e materiais necessaria para o funcionamento e protecao dos equipamentos opticos, radio e IP, a serem utilizados na rede nacional de telecomunicacoes incluindo garantia e assistencia tecnica, instalacao, treinamento e operacao inicial. A empresa Clemar Engenharia LTDA foi a vencedora do pregão.
- pregão 32010: realizado com a finalidade de contratar solucao de um sistema completo de telecomunicacoes por fibra optica com tecnologia dwdm, materiais e servicos necessarios para o funcionamento e operacao dos equipamentos opticos a serem utilizados na rede nacional de telecomunicacoes, incluindo garantia e assistencia tecnica,instalacao , treinamento e operacao inicial. A empresa Padtec S/A foi a vencedora do pregão.
- Pregão 42010: realizado com a finalidade de contratar empresa especializada na prestação de Serviços de Telefonia Fixa Comutada (STFC), na modalidade Local, Longa Distância Nacional (LDN) e Longa Distância Internacional (LDI), a serem executados de forma contínua, prevendo a destinação dos troncos de entrada e saída para a licitante vencedora, de acordo com

especificações contidas no Edital e seus Anexos. A empresa Intelig Telecomunicações LTDA foi a vencedora do pregão.

- pregão 52010: realizado com a finalidade de contratar, mediante Registro de Preços, solução de rede de comunicação de dados em protocolo IP/MPLS, referente ao CORE IP e respectivo Planejamento Técnico, composta por equipamentos de comutação de dados, servidores, softwares e serviços profissionais de planejamento técnico, instalação, treinamento, configuração e operação inicial, com garantia, visando a implantação do Programa Nacional de Banda Larga - PNBL. A empresa Mediata Informática S/A foi a vencedora do pregão
- pregão 62010: realizado com a finalidade de contratar, mediante registro de preços, solução de rede de comunicação de dados em protocolo IP/MPLS, referente às redes de borda e acesso IP, composta por equipamentos de comutação de dados, servidores, softwares e serviços profissionais de instalação, treinamento, configuração e operação inicial, com garantia, visando a implantação do Programa Nacional de Banda Larga - PNBL em diversos estados do País. A empresa Teracom Telemática LTDA (marca Datacom) foi a vencedora do pregão.
- pregão 82010: realizado com a finalidade de contratar, mediante registro de preços, solução de enlaces de rádios digitais, composta de equipamento de radiocomunicação, sistema irradiante, sistema de gerenciamento, serviços de instalação, treinamento, operação inicial, com garantia, visando a implantação do programa nacional de banda larga - pnbl, em diversos estados do país. A empresa Digitel S/A foi a vencedora do pregão.
- pregão complementar 82010: realizado com a finalidade de contratar, mediante registro de preços, estruturas verticais para implementação dos sistemas de rádios digitais, fazendo parte das estruturas verticais torres autoprantes e postes de concreto. As empresas Networker Telecom Indústria e a Bimetal foram as vencedoras do pregão.
- pregão 22011: realizado com a finalidade de contratar, mediante registro de preços, serviços de apoio à integração, apoio à fiscalização e acompanhamento da aceitação da implantação de rede DWDM, enlaces de rádios digitais, solução de core IP, infraestrutura, lançamento de fibras e sistemas de gerência

necessários ao atendimento ao PNBL, em diversos estados do País. A empresa Lyon Engenharia LTDA foi a vencedora do pregão.

- pregão 52011: realizado com a finalidade de contratar, mediante registro de preços, empresa para a prestação de serviços de identificação e seleção de locais, compartilhamento, contratação e licenciamento de locais, para a implantação de sites do backbone óptico, de estações terminais e repetidoras dos enlaces de rádios digitais, em áreas de busca previamente definidas, bem como a avaliação técnica do atual valor de mercado dos locais a serem contratados e laudo de estruturas verticais para sites a serem compartilhados. A empresa Telesite Telecomunicações LTDA foi a vencedora do pregão.

4. DIGITEL NO PROJETO PNBL

Conforme informado no pregão de nº 82010 a Digitel S/A foi a vencedora e irá implantar rádios digitais que funcionarão somente com porta ethernet/óptica. Pelo contrato assinado a Digitel S/A deverá:

- realizar projetos iniciais de rádio enlace.
- realizar vistorias em campo para confirmação do estudo teórico, bem como localizar pontos para a construção dos containers e estruturas verticais.
- realizar testes de prospecção em campo de todos os enlaces, retornar com esses dados para seu escritório.
- realizar a atualização dos seus projetos de rádio enlace e enviar à Telebrás para que se possa dar início as obras de implantação.
- realizar as devidas instalações seus equipamentos bem como a instalação de todas as miscelâneas necessárias para o funcionamento do enlace.
- realizar treinamento para capacitar os funcionários da Telebrás quanto as especificações técnicas e modos de funcionamento de seus rádios.
- realizar serviço de operação inicial, pós implantação, para garantir que o sistema instalado funcionará conforme o acordado.

Dessa forma, de modo bem resumido, a Digitel verá o projeto nascendo e sendo finalizado.

O foco desse PROJETO DE DIPLOMAÇÃO entrará na parte que tange os projetos de rádio enlace. Com a realidade que veio a ser o PNBL a Digitel S/A se viu obrigada em criar uma área forte de projetos de rádio enlace, contando com projetistas de rádio enlace e desenvolvedores de softwares de gerenciamento das informações e auxílio nos cálculos.

Serão apresentados todos os elementos teóricos para a devida análise de um projeto de rádio enlace bem como os softwares utilizados para a composição das rotas que serão instaladas pela Digitel para o PNBL.

5. O PROJETO DE RÁDIO ENLACE: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Meio de transmissão

O meio de transmissão de um enlace de rádio é composto pelo conjunto da superfície terrestre e a atmosfera. O comportamento do sinal transmitido depende, portanto, das condições atmosféricas e da topologia do terreno em que o sinal se propaga.

A propagação que se realiza no vácuo, ou seja, em condições ideais, é chamada de propagação no espaço livre. Entende-se por condições ideais quando o meio é homogêneo e isotrópico, livre de obstáculos e partículas ionizadas, ou seja, não se enquadra no estudo que será realizado nesse projeto.

(MYOSHI, 2002) "No espaço livre as ondas de rádio se propagam em "linha reta" sem ocorrência de fenômenos como refração e reflexão. No caso do sinal ter que transpor obstáculos, ou atravessar meios com características diferentes, fenômenos como reflexão e difração ocorrem, degradando o nível e a qualidade do sinal transmitido."

A atmosfera é composta de vários gases que formam uma mistura transparente, incolor e inodora, no qual a chamamos de ar atmosférico. Além dos gases, há também vapor de água, partículas de pó, microrganismos, etc.

Tendo a superfície terrestre como referencia a camada de interesse para estudo da propagação de ondas de rádio do serviço de radio enlace focado nesse Projeto de Diplomação é a troposfera. Essa camada atinge até cerca de 10 a 12 Km de altitude e concentra 75% dos gases e 80% da umidade atmosférica. É a camada mais próxima da superfície da terra e na

qual ocorrem as perturbações atmosféricas. É composta por gases, como: oxigênio, nitrogênio e o dióxido de carbono.

A troposfera é transparente à radiação solar, e sua temperatura decresce com a altitude. Nessa camada, o principal efeito na propagação das ondas de rádio é o da refração, que atua na trajetória das ondas com o aumento da velocidade de propagação devido à elevação da altitude

5.2 Faixas de frequência

As comunicações via rádio e suas finalidades variam em função das faixas de frequência, conforme figura 1.

Faixa de Frequência	Denominação	Nome Usual	Exemplos
300 Hz - 3 kHz	ELF - Extremely Low Frequency	Ondas Extremamente Longas	Submarinos, Minas
3 KHz - 30 KHz	VLF - Very Low Frequency	Ondas Muito Longas	
30 KHz - 300 KHz	LF - Low Frequency	Ondas Longas	Navegação Aérea, Serviços Marítimos, Radiodifusão Local
300 KHz - 3 MHz	MF - Medium Frequency	Ondas Médias	
3 MHz - 30 MHz	HF - High Frequency	Ondas Curtas	Serviços Marítimos, Radiodifusão Local, Radiodifusão Distante
30 MHz - 300 MHz	VHF - Very High Frequency	Ondas Muito Curtas	Transmissão de TV, Sistemas Celulares, Segurança Pública, Sistemas Comerciais
300 MHz - 3 GHz	UHF - Ultra High Frequency	Ondas Ultra Curtas	
3 GHz - 30 GHz	SHF - Super High Frequency	Microondas	Comunicação Pública, Sistemas Radiovisibilidade, Sistemas Satélites
30 GHz - 300 GHz	EHF - Extremely High Frequency		

Figura 1: Faixas de frequências e seus usos.

- Faixas de VHF, UHF, SHF e EHF (faixas de interesse)

Nas faixas de VHF ou superiores não se torna mais possível o uso de reflexão ionosférica, porque nessa faixa as ondas refletidas não chegam a atingir o ângulo necessário até os limites da ionosfera para retornar à superfície terrestre. Acima da VHF, portanto, são usadas antenas diretivas que concentram a energia em feixes mais estreitos, estabelecendo as ligações por meio da onda espacial entre as antenas transmissora e receptora, formando sistemas em visibilidade. Nas faixas de VHF, UHF é possível trabalhar com enlaces parcialmente obstruídos, enquanto nas faixas de SFH e EHF (microondas) deve-se ter necessariamente a visada direta.

5.3 Refração da onda eletromagnética

A intensidade dos efeitos da refração pode ser calculada pelo gradiente médio de refratividade ΔN , definido pela diferença entre o índice de refração, a uma altura de 1 km e a uma altura de 100 m acima do solo. O gradiente de refratividade tem um valor negativo, na maioria dos casos (Figura 2).

Para frequências menores que 100 GHz, a refratividade N pode ser calculada, com erro inferior a 0,5%, pela equação 5.3.1, de origem empírica, proposta por Bean e Dutton (1966).

$$N = \frac{77,6}{T} \left(p + 4,810 \frac{e}{T} \right) \quad (5.3.1)$$

onde:

N = refratividade

p = pressão atmosférica em hPa

T = temperatura em °K

e = pressão do vapor d'água em hPa.

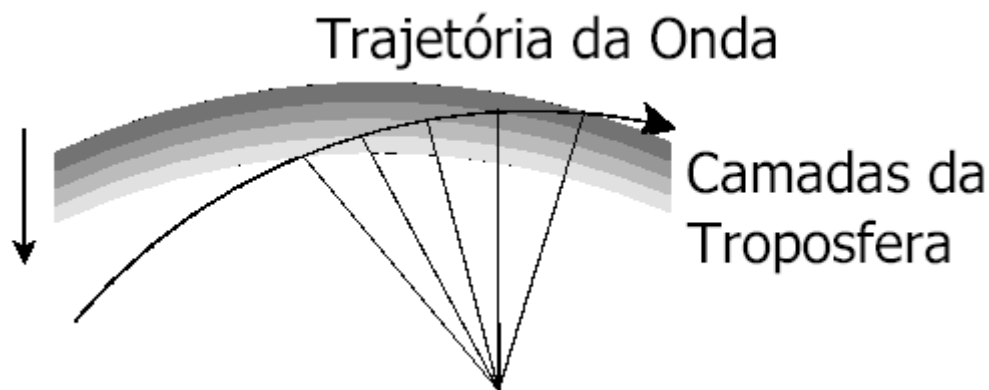


Figura 2: Ilustração do efeito da refração

5.4 Raio terrestre equivalente

A refração atmosférica observada na propagação das ondas de rádio é devido a variações no índice de refração do ar com a altura e, em consequência, com a mudança de clima, devido as alterações nas condições de temperatura, pressão e umidade.

Na chamada atmosfera padrão, o índice de refração atmosférica decresce com a altitude, causando o encurvamento para baixo das ondas de rádio. Para analisar a propagação das ondas de rádio usa-se o artifício de considerar o feixe sem curvatura, aumentando o raio da terra. Dessa forma, tem-se o feixe representado em linha reta e a curvatura da Terra diminuída (raio aumentado). O novo raio é chamado da raio equivalente.

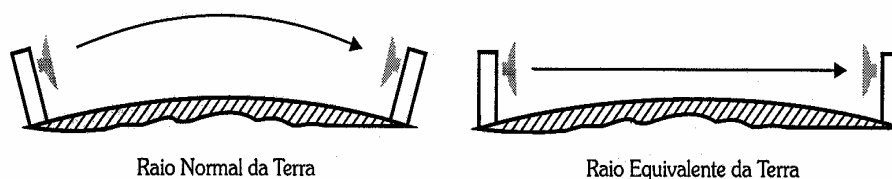


Figura 3: Raio equivalente da Terra

Os valores utilizados para considerar o raio equivalente são extraídos das recomendações 310-09 e 530-09 do ITU-R. O fator K é calculado conforme a formula abaixo:

$$K = \frac{1}{1 + RT \frac{dN}{dh}} \quad (5.4.1)$$

em que:

RT = raio da Terra

$$\frac{dN}{dh} = \frac{dM}{dh} \times 10^{-6} - \frac{1}{RT}$$

$$\frac{dM}{dh} = 0,118 \frac{M.U}{m} \text{ (valor médio do gradiente de refratividade próximo da superfície terrestre)}$$

no qual, com esses valores, chegamos ao valor de K médio de $\frac{4}{3}$.

Recomenda-se que seja considerado, nos cálculos de desempenho do rádio enlace, dois valores de k: o k médio e o k mínimo. Como k médio, que é superado em mais de 50% do tempo de um ano, pode ser utilizado o valor de $\frac{4}{3}$ ou outro valor calculado pelas curvas de refratividade da Recomendação ITU-R P 453-8 (1995). O k mínimo pode ocorrer, estatisticamente, em 0,1% do tempo, em um ano, conforme Recomendação P 530-6 (2007).

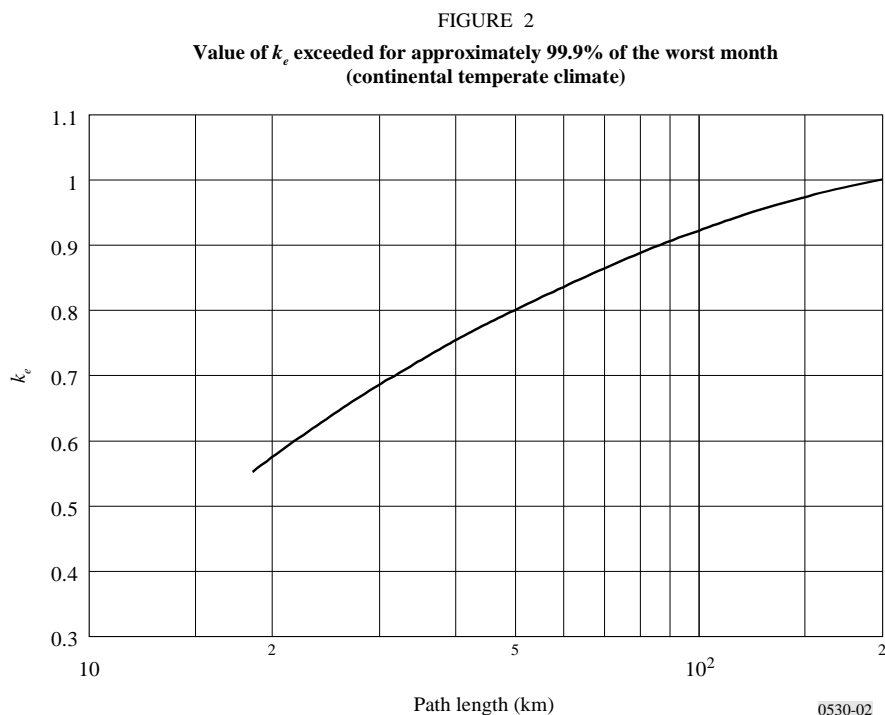


Figura 4: Variação do K mínimo com a distância (REC P 530-9 do ITU-R)

A aplicação do conceito de raio equivalente é obtida, na representação gráfica do perfil do terreno, entre as antenas de transmissão e recepção, em gráficos especiais com raio

de curvatura equivalente a 4/3 do raio terrestre. Esse gráfico apresenta, no eixo horizontal, a distância entre a antena transmissora e receptora e, no eixo vertical, a altitude em relação ao nível do mar.

5.5 Raio de Fresnel

(SIZUN, 2003) “Elipsoide de Fresnel é o lugar geométrico dos pontos entre as antenas que possui comprimento igual à soma da distância entre as antenas e meio comprimento de onda, região também denominada de primeira zona de Fresnel.”

Todas as características do espaço, nas proximidades da linha de visada das antenas que diferem das características do vácuo, estão envolvidas no processo de propagação (Figura 5).

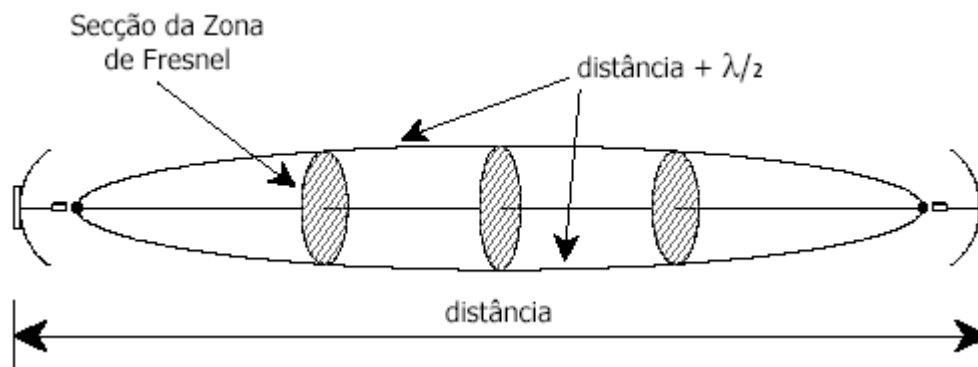


Figura 5: Frentes de onda no elipsoide de Fresnel

(SIZUN, 2003) “No caso de um enlace real, as antenas – transmissora e receptora – ocupam as extremidades do eixo maior, como mostra a Figura 10. A potência recebida pode ser calculada pela equação 5.8.5.1, desde que sejam atendidas as condições de desobstrução de 60% da primeira zona de Fresnel para k mínimo e 100% da primeira zona de Fresnel para k médio.”

O raio da seção reta circular da primeira zona de Fresnel, em um ponto definido (ponto com maior elevação do terreno – ponto crítico) pela distância D_1 e D_2 , a partir das antenas na trajetória de visada do rádio enlace, pode ser calculado como segue (ITU-R P530):

$$R_m = 547 \sqrt{\frac{D_1 \cdot D_2}{f \cdot d}} \quad (5.5.1)$$

onde:

R_m = raio de Fresnel (m)

D_1 = distância AC (km)

D_2 = distância BC (km)

d = distância do enlace (km)

f = frequência em MHz

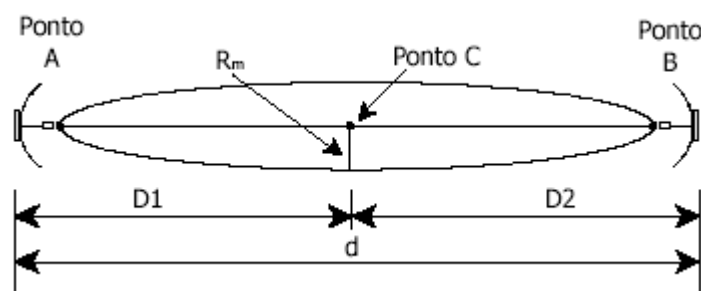


Figura 6: Ilustração do elipsoide da primeira zona de Fresnel

5.6 Análise da prospecção do terreno

Para o projeto das rotas do Plano Nacional de Banda Larga será necessária a construção de toda a infraestrutura necessária para o perfeito funcionamento do sistema enlace. Sendo assim, realizar teste de prospecção em alguns dos enlaces que compõe a rota é de suma importância.

Teste de prospecção visa confirmar aspectos não passíveis de verificação em escritório, entre os quais estão obstáculos e condições específicas de ambiente. Dessa forma, é possível verificar com certeza a viabilidade de um enlace.

Em suma, o teste de prospecção é realizado, tendo como parâmetro a linha de visada do enlace, com medidores de altura a partir do nível do mar a altura dos principais obstáculos que existe entre as pontas do enlace. Nessas medidas estão altura de morros, prédios, árvores, extensão de rios, e qualquer obstáculo significativo para o enlace.

Com o teste de prospecção em mãos é possível ter certeza da viabilidade do enlace, bem como, calcular as alturas reais de torre que serão utilizadas. Para a realização do teste de prospecção temos como base a Prática Telebrás nº 225-320-602 “Procedimentos de Prospecção em SHF” de 01 de novembro de 1982 e no adendo 225-330-602 de maio de 1984.

(MYOSHI, 2002) “A prática tem como objetivo delimitar diretrizes básicas de prospecção para definição do radioenlace ou rota e escolha dos locais das estações na implantação de um sistema, uniformizando os procedimentos de prospecção e caracterizando sequências e procedimentos típicos de prospecção.”

5.7 Cálculo das alturas mínimas de torre

Com os dados do perfil do terreno e da localização dos pontos críticos (dados coletados através do teste de prospecção) – pontos de maior altitude que podem provocar obstrução dentro do elipsoide de Fresnel –, pode-se calcular a altura das antenas de transmissão e recepção. O método consiste em arbitrar a altura de uma delas (normalmente elevando a torre mais próxima do obstáculo) e calcular a altura da outra, obedecendo-se aos critérios de desobstrução da primeira zona de Fresnel, previamente estabelecidos. A Figura 7 apresenta os principais parâmetros utilizados no cálculo (MYOSHI, 2002):

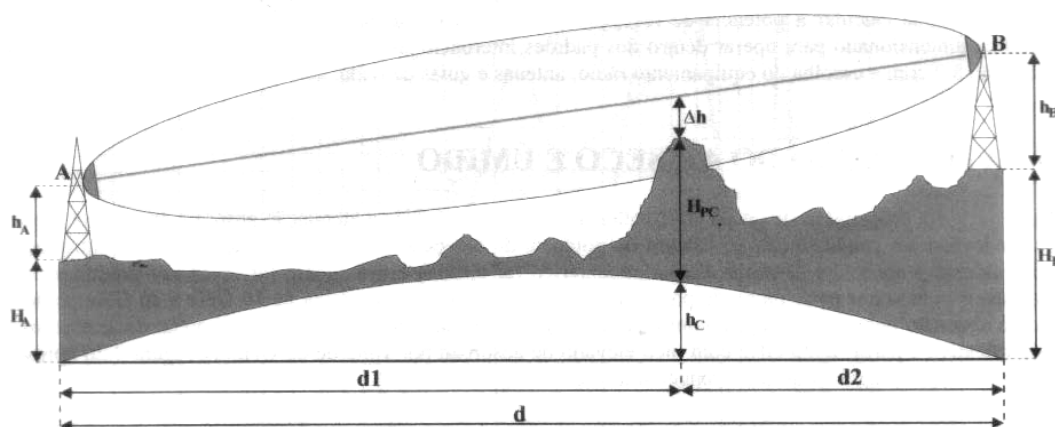


Figura 7: Cálculo das alturas utilizando teste de prospecção

onde:

λ = comprimento de onda em metros

Δh = distância do ponto crítico à linha de visada em metros

r_1 = raio do elipsoide de Fresnel no ponto crítico em metros

H_{pc} = altitude do ponto crítico em metros

H_A = altitude do ponto A em metros

H_B = altitude do ponto B em metros

h_c = correção da curvatura da terra no ponto crítico em metros

hA = altura da antena A em metros

hB = altura da antena B em metros

$d1$ = distância do ponto crítico à antena A em quilômetros

$d2$ = distância do ponto crítico à antena B em quilômetros

d = distância total entre as duas antenas em quilômetros.

$$hB = \frac{d(Hpc + \Delta h + hc - HB) - d2(HA + hA - HB)}{d1} \quad (5.7.1)$$

$$r1 = \sqrt{\frac{d1 \cdot d1 \cdot \lambda}{d}} \quad (5.7.2)$$

$$hc = \frac{0,078478 \cdot d1 \cdot d2}{k} \quad (5.7.3)$$

5.8 Cálculo dos níveis de propagação

5.8.1 Cálculo da distância do Enlace

Para o cálculo da distância devemos ter em mãos as coordenadas do enlace. Tendo as coordenadas em graus, minutos e segundos devemos convertê-las para graus decimais e depois para radianos (MYOSHI, 2002). Sendo assim:

$$Latitude = Graus + \frac{Minutos}{60} + \frac{Segundos}{3600} \quad (5.8.1.1)$$

$$Longitude = Graus + \frac{Minutos}{60} + \frac{Segundos}{3600} \quad (5.8.1.2)$$

Com as coordenadas convertidas em graus decimais será necessário convertê-las para radianos. Então, a distância do enlace será:

$$D = [(X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2 + (Z1 - Z2)^2]^{1/2} \quad (5.8.1.3)$$

onde,

$$X1 = Raio da Terra \cdot \cos(Lat1) \cdot \cos(Long1)$$

$$X2 = Raio da Terra \cdot \cos(Lat2) \cdot \cos(Long2)$$

$$Y1 = Raio da Terra \cdot \cos(Lat1) \cdot \sin(Long1)$$

$$Y2 = \text{Raio da Terra} \cdot \cos(\text{Lat}2) \cdot \text{sen}(\text{Long}2)$$

$$Z1 = \text{Raio da Terra} \cdot \text{sen}(\text{Lat}1)$$

$$Z2 = \text{Raio da Terra} \cdot \text{sen}(\text{Lat}2)$$

5.8.2 Cálculo do Azimute e do ângulo vertical

O azimute e o ângulo vertical são necessários para o alinhamento das antenas. Eles também são calculados diretamente pelas informações da latitude e da longitude (MYOSHI, 2002).

$$Vna = RT \cdot \text{sen}(\text{Lat}1) \cdot \cos(\text{Lat}2) \cdot \cos(\text{Long}1 - \text{Long}2) + RT \cdot \cos(\text{Lat}1) \cdot \text{sen}(\text{Lat}2)$$

$$Vea = RT \cdot \cos(\text{Lat}2) \cdot \text{sen}(\text{Long}1 - \text{Long}2)$$

onde RT é o raio da terra em km.

Com esses dois parâmetros calculamos o arco tangente entre eles, segundo a relação abaixo:

$$\text{atang} \left(\frac{Vea}{Vna} \right) = X \quad (5.8.2.1)$$

Com o valor do arco tangente em mãos calculamos o azimute em relação ao norte geográfico. Considerando o exposto acima temos que X é o angulo em graus em relação ao norte geográfico. Assim, o azimute da ponta B seria -X e o azimute da ponta A seria -X +180 graus.

Conforme (MYOSHI, 2002) “O ângulo vertical λ_{AB} ou λ_{BA} é dado pela expressão:

$$\lambda_{AB} = \frac{180}{\pi} \left[\frac{(HB-HA)}{d \cdot 1000} - \frac{d}{2 \cdot RT} \right] \quad (5.8.2.2)$$

onde d é a distância em km do enlace, RT é o raio da terra e H é a altura da antena em relação ao nível do mar.

5.8.3 Atenuação de espaço livre

Conforme (Sizun 2003),” uma onda eletromagnética, propagando-se no espaço livre, sofre uma atenuação contínua. Ao afastar-se da fonte, a mesma quantidade de energia é distribuída em uma área maior, diminuindo a densidade de potência na região.”

A atenuação de espaço livre pode ser calculada pela equação a seguir (MYOSHI, 2002):

$$A_o = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (5.8.3.1)$$

Essa equação pode ser reescrita na forma logarítmica, tornando-se:

$$A_o \text{ (dB)} = 32,4 + 20.\log (f) + 20.\log (d) \quad (5.8.3.2)$$

onde:

d = distância do enlace (km)

λ = comprimento de onda (m)

f = frequência (MHz)

A_o = atenuação em espaço livre (dB).

5.8.4 Perda por absorção atmosférica

A atenuação gasosa em enlaces, na superfície terrestre, pode ser calculada pela equação 6.4.4.1, conforme Recomendação ITU-R P676-3 (1995):

$$A_{ab} = (\gamma_o + \gamma_w). d_o \quad (5.8.4.1)$$

onde:

γ_o = atenuação específica do ar seco/oxigênio em dB/km

γ_w = atenuação específica do ar úmido/vapor d'água em dB/km

d_o = comprimento do enlace em km.

$$\gamma_o = \left(7,19 \cdot 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right) \cdot f^2 \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_w = \left(0,050 + 0,0021 \cdot p + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} + \frac{10,6}{(f - 183,3)^2 + 9,0} + \frac{8,9}{(f - 325,4)^2 + 26,3} \right) \cdot p \cdot f^2 \cdot 10^{-4}$$

onde:

f = frequência em GHz

p = densidade de vapor d'água em grama/m³ (usar p = 7,5 g/m³)

5.8.5 Nível de sinal Recebido e Margem de desvanecimento

A partir do nível mínimo de sinal exigido pelo receptor se faz o somatório das demais variáveis.

Equação geral (MYOSHI, 2002):

$$Prx = Ptx - Asd(tx) - Ago(tx) + Gtx - Ao + Grx - Ago(rx) - Asd(rx) - Aab \quad (5.8.5.1)$$

onde:

Prx = potência de recepção na entrada do receptor em dBm

Ptx = potência de transmissão na saída do transmissor em dBm

Asd(tx) = perda no sistema de derivação da transmissão em dB

Ago(tx) = perda no guia de onda da transmissão em dB

Gtx = ganho da antena de transmissão em dBi

Grx = ganho da antena de recepção em dBi

Ago(rx) = perda no guia de onda da recepção em dB

Asd(rx) = perda no sistema de derivação da recepção em dB

Aab = perda por absorção atmosférica

Ao = atenuação por espaço livre (dB)

A margem de desvanecimento é nada mais que uma relação entre a potencia de recepção, mostrada como é calculada logo acima, e o limiar de recepção do sistema rádio utilizado. Assim, tendo como o limiar de recepção do rádio a sigla *Prxl*, temos que a margem de desvanecimento é

$$\text{Margem de Desvanecimento} = Prx - Prxl \quad (5.8.5.2)$$

5.8.6 Indisponibilidade devido a multipercusso

De acordo com a ITU-R P.530-9 podemos calcular a indisponibilidade devido à multipercusso para o pior mês considerando o fator de ocorrência de desvanecimento devido a multipercusso, conforme mostra as equações logo abaixo.

$$P_o = K d^{3,2} (1 + |\varepsilon_p|)^{-0,97} 10^{0,032f} - 0,00085 h_l \quad (5.8.6.1)$$

onde K é o fator geoclimático, d é a distância do enlace em quilômetros, ε_p é a inclinação do enlace, f é a frequência em GHz e h_l é a altitude da antenna com menor altitude em metros em relação ao nível do mar.

O fator geoclimático é calculado conforme se segue:

$$K = 10^{-4,2-0,0029dN_1} \quad (5.8.6.2)$$

onde dN_1 é tabelado pela ITU-R P.453. A inclinação do enlace é dada pela expressão abaixo:

$$|\varepsilon_p| = |h_r - h_e|/d \quad (5.8.6.3)$$

onde d é a distância em quilômetros, h_r é a altitude da antenna na ponta r e h_e é a altitude da antenna na ponta e.

Sendo assim, a probabilidade da margem de desvanecimento ser excedida no pior mês é

$$p_w = P_o \cdot 10^{-\frac{A}{10}} \quad (5.8.6.4)$$

5.8.7 Atenuação devido a chuva

A atenuação por chuva só afeta enlaces que operam em frequências acima de 10GHz. Logo abaixo segue modelo empírico para se calcular a porcentagem do tempo que o enlace fica indisponível. Esse método foi retirado do ITU-R 838 e 530-7.

Primeiro calcula-se a atenuação específica γ

$$\gamma = \alpha \cdot R_{0,01}^{\beta} \quad (5.8.7.1)$$

onde α e β são coeficientes de regressão mostrados na tabela 1 e $R_{0,01}$ é a taxa de chuva para 0,01% do tempo.

Depois, calcula-se a distância efetiva do enlace que é dado por

$$d_e = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}} \quad (5.8.7.2)$$

onde $d_0 = 34 \cdot e^{-(0,015 \cdot R_{0,01})}$.

A atenuação para 0,01% do tempo é estimada por

$$A_{0,01} = \gamma \cdot d_e \quad (5.8.7.3)$$

Atenuações A que excedem percentagens de tempo maiores que 0,01% do tempo P são derivadas das equações abaixo:

- Para latitudes igual ou maior que 30° norte ou sul

$$\frac{A}{A_{0,01}} = 0,12 \cdot P^{-(0,546 + 0,043 \cdot \log_{10}^P)} \quad (5.8.7.4)$$

- Para latitudes menores que 30° norte ou sul

$$\frac{A}{A_{0,01}} = 0,07 \cdot P^{-(0,855 + 0,139 \cdot \log_{10}^P)} \quad (5.8.7.5)$$

Assim, A é setado como a margem de desvanecimento e P é calculado como

- Para latitudes igual ou maior que 30^0 norte ou sul

$$\log(P) = 11,628. \left(-0,0546 + \sqrt{0,29812 + 0,172. \log_{10} \left(\frac{0,12.A_{0,01}}{A} \right)} \right) \quad (5.8.7.6)$$

- Para latitudes menores que 30^0 norte ou sul

$$\log(P) = 3,59712. \left(-0,855 + \sqrt{0,731025 + 0,556. \log_{10} \left(\frac{0,07.A_{0,01}}{A} \right)} \right) \quad (5.8.7.7)$$

As equações acima são válidas somente para taxas de chuvas entre 1% até 0,001% do tempo.

5.8.8 Cálculo da Indisponibilidade

A indisponibilidade é calculada invertendo a operação logarítmica. Assim, obtém-se a percentagem de tempo que o enlace ficará indisponível devido a chuva. Aplicando um disponibilidade de 99,990% como índice mínimo temos que um enlace pode ficar indisponível no máximo 52,56 minutos por ano.

5.8.9 Reflexão

Conforme (Myoshi, 2002) “Reflexões são fenômenos prejudiciais à qualidade do sinal recebido que ocorrem, normalmente, em enlaces com excesso de visada, devido as condições do perfil do enlace. A reflexão é a modificação da direção de propagação de uma onda que incide sobre uma interface que separa dois meios diferentes e retorna para o meio inicial”

A reflexão aqui estudada será a reflexão considerada permanente, ou seja, a que acontece devido ao terreno/perfil e geralmente em superfícies lisas.

Segundo (Myoshi, 2002) “As reflexões na superfície são permanentes e ocorrem em pontos ou regiões específicas ao longo do perfil. Se essas reflexões ocorrerem em regiões muito planas, o sinal refletido possui um nível comparável com o sinal direto, de forma que pode causar uma atenuação muito grande do sinal resultante na recepção, dependendo da diferença de fase entre os dois sinais.”

5.9 Cálculo dos níveis interferentes

A realização do cálculo dos níveis interferentes que o enlace irá sofrer segue as mesmas premissas discutidas até agora, porém considera um cálculo de índices de propagação em todos os enlaces que estão em volta do enlace em questão.

Para tanto, são considerados os diagramas de irradiação das antenas utilizadas. Graças a diretividade das antenas que é possível realizar a instalação de vários enlaces na mesma região. Para o cálculo dos sistemas interferentes iremos utilizar o software Wings Planner da Wings Telecom.

O cálculo de interferência calcula o nível de recepção, enlace por enlace, e depois, para a frequência de uso, calcula o nível interferente para ela. Logo abaixo segue uma figura para ilustrar o cálculo de interferência.

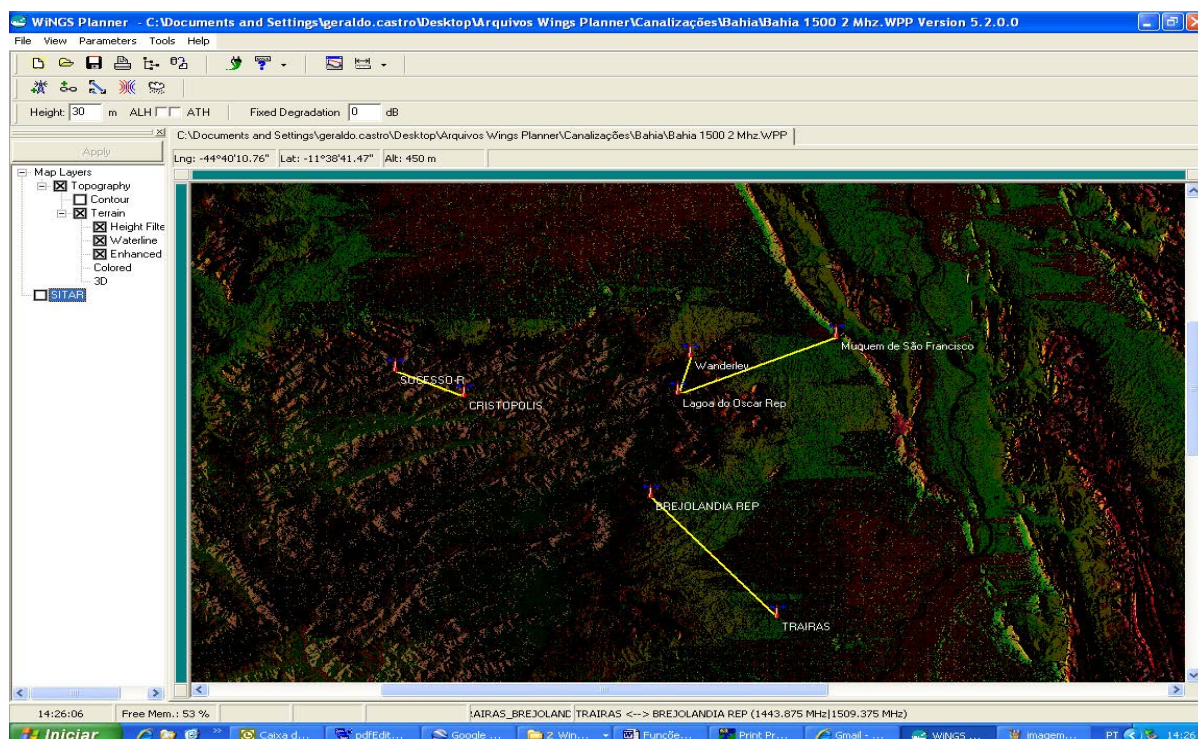


Figura 8: Rede de interferência

Como pode ser visto na figura acima há vários enlaces instalados na mesma região. O cálculo de interferência calcula o nível de recepção entre todas as pontas, como se cada uma conseguisse formar um potencial enlace entre as outras. A diferença entre o cálculo ponta a ponta demonstrado até agora e o cálculo de interferência em questão é que leva-se em conta o

diagrama de irradiação da antena utilizada. Assim, o ganho da antena fica limitado a esse diagrama, dependendo do ângulo/azimute que as pontas se encontram.

Sendo assim, é calculado o nível de interferência e comparado com o limiar de recepção do rádio. Como padrão esse nível interferente precisa ser 20dB menor que o limiar do rádio.

6. ESTUDO DE CASO – PROJETO DA ROTA INFRAERO GALEÃO

Como exemplificação dos projetos realizados para a Telebrás, nesse trabalho de conclusão, irei utilizar a análise da rota de atendimento para o aeroporto Infraero Galeão na cidade do Rio de Janeiro.

Esse estudo de caso contempla um sistema no qual deverá passar 1Gbps, por se tratar de um órgão do governo. Também apresenta peculiaridades quanto a problemas de reflexão na água, limitações de estrutura vertical por estar próximo do aeroporto Galeão (legislação Comar) e, por ter uma velocidade de 1Gbps, necessitará de cinco enlaces de rádio em paralelo, pois o rádio que a Telebrás comprou somente contempla 192Mbps.

Toda a metodologia aplicada e premissas utilizadas serão explicadas no itens que seguem abaixo.

6.1 Análise prévia

A figura 9 apresenta, através de foto tirada do software Google Earth, o cliente que necessita ser atendido.

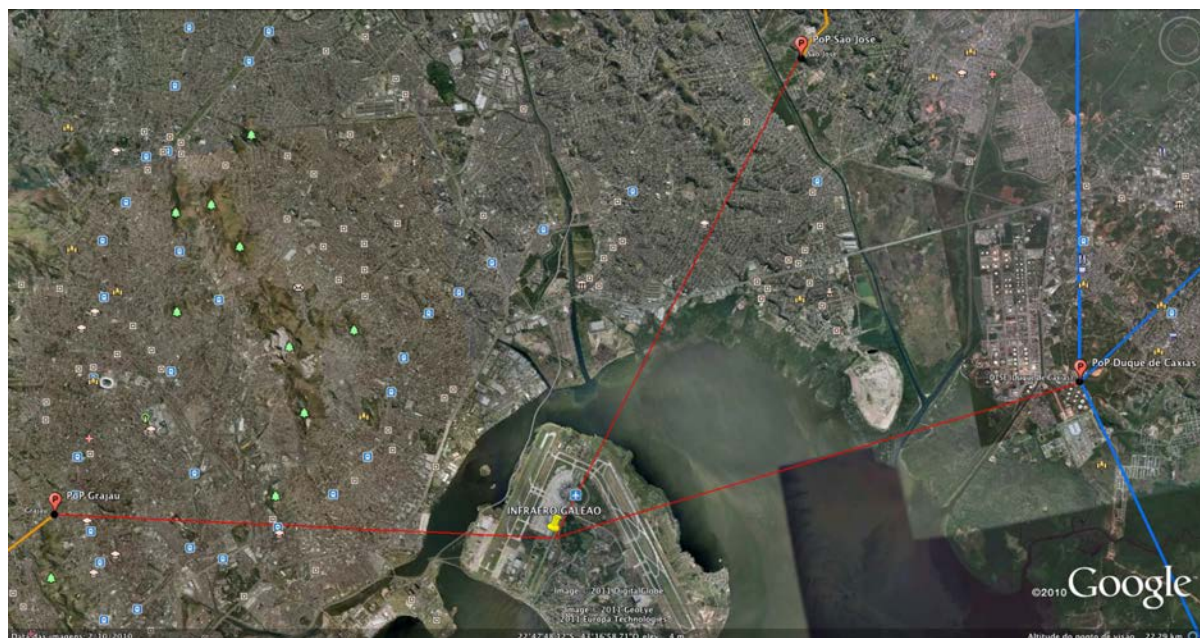


Figura 9: Possíveis PoP's para atendimento à Galeão

O primeiro ponto a ser analisado serão os perfis, em visada direta, que será gerado pelas três opções visualizadas na figura 9. Após essa análise teremos condições de começar o projeto propriamente dito.

O perfil entre o PoP Grajau (ponto a esquerda na figura 9) e o aeroporto Galeão, representado na figura 10, é inviável, pois está totalmente obstruído.

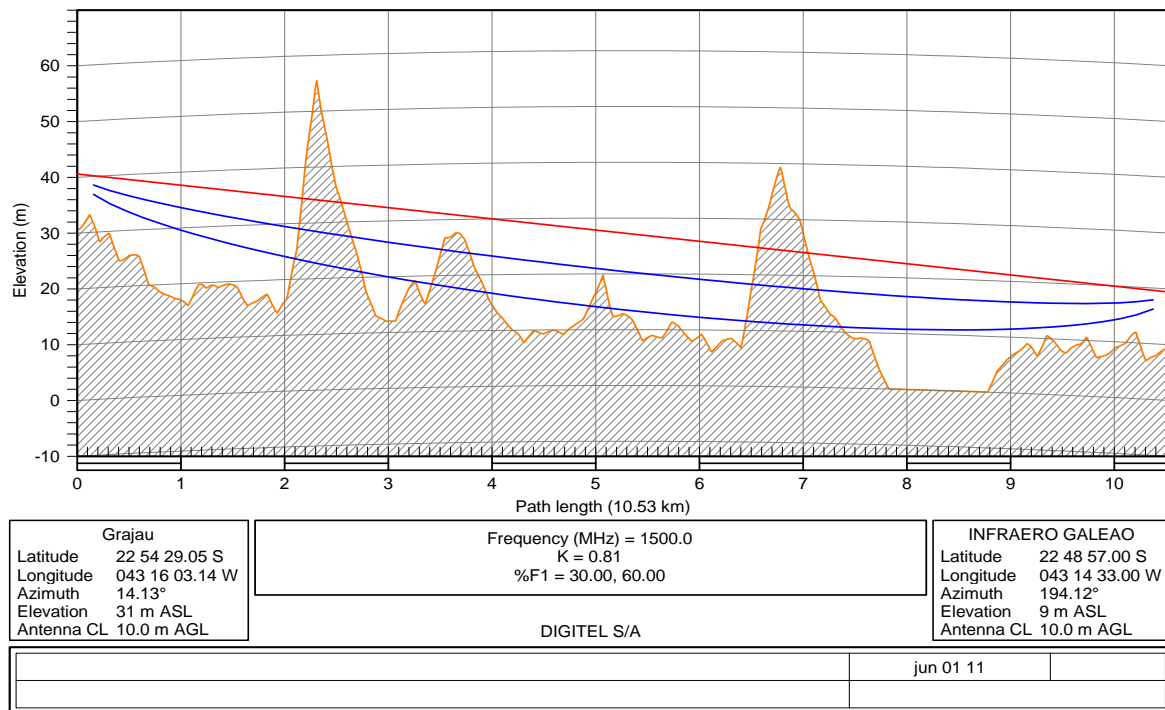


Figura 10: Perfil entre o PoP Grajau e o aeroporto Galeão

O perfil entre o PoP São José (ponto mais acima na figura 9) e o aeroporto Galeão, representado na figura 11, é inviável, pois está totalmente obstruído.

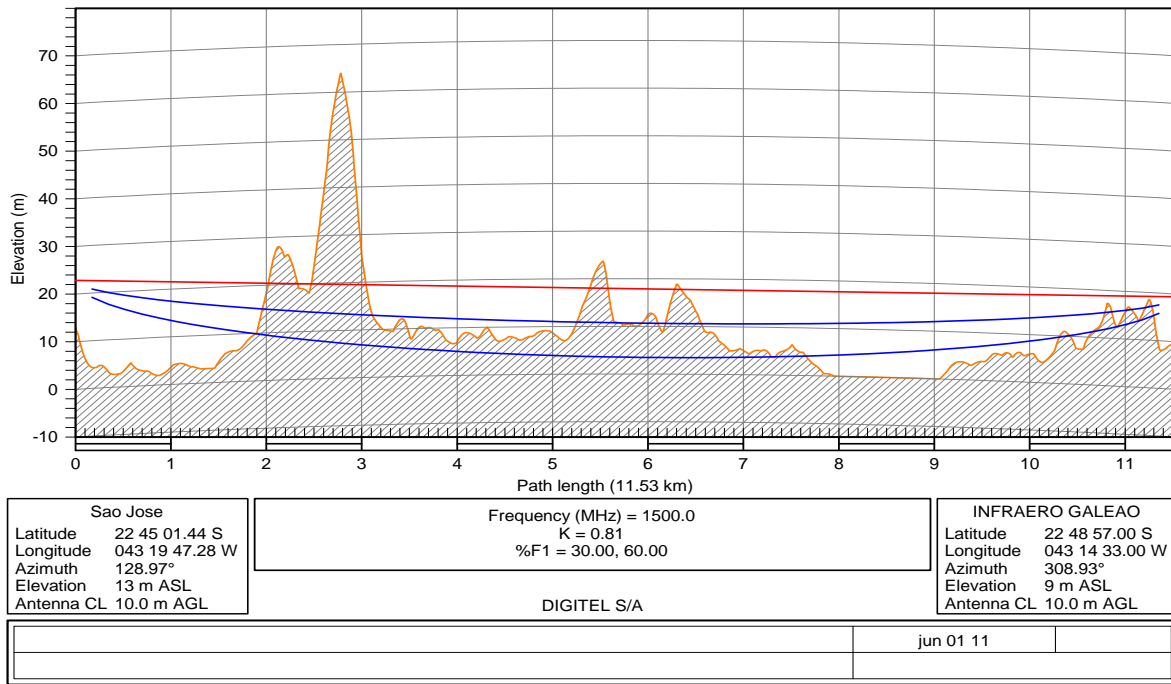


Figura 11: Perfil entre o PoP São José e o aeroporto Galeão

O perfil entre o PoP Duque de Caxias (ponto a direita na figura 9) e o aeroporto Galeão, representado na figura 12, é viável pois apresenta visada livre.

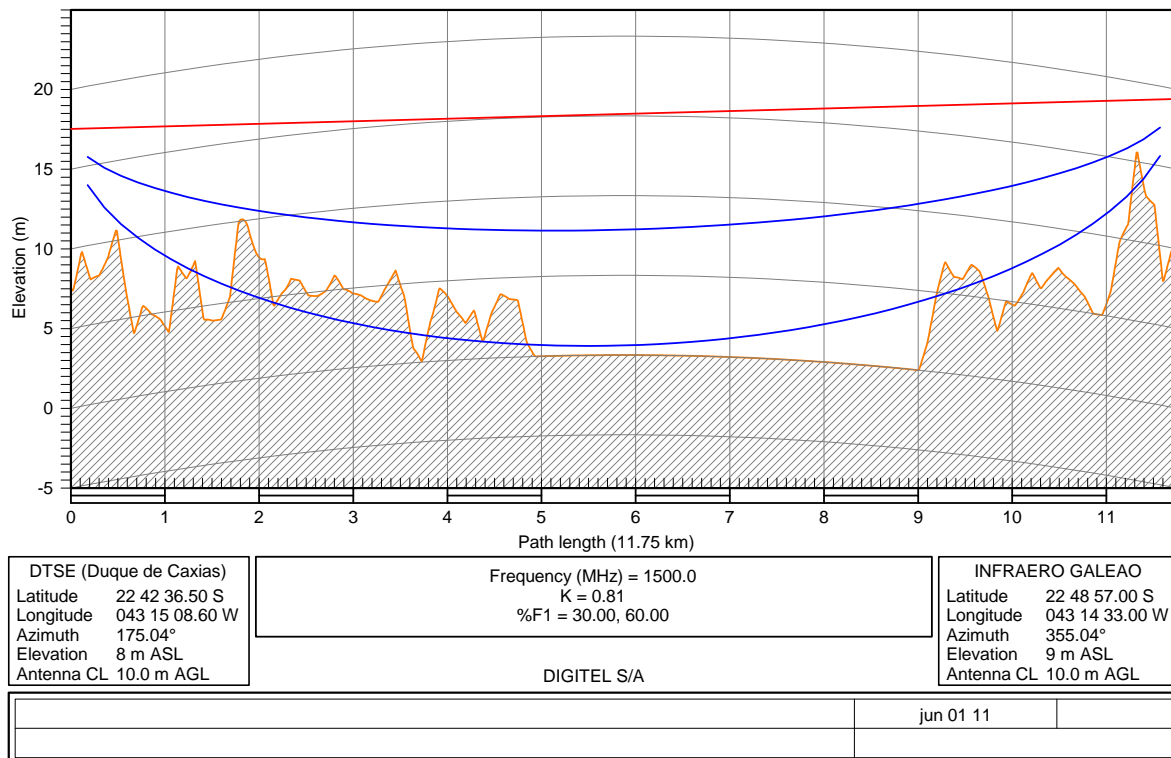


Figura 12: Perfil entre o PoP Duque de Caxias e o aeroporto Galeão

Sendo assim, o PoP escolhido para atender ao aeroporto Galeão será o PoP Duque de Caxias.

6.2 Análise do ponto de repetição

Ao considerar o ponto de atendimento através do PoP Duque de Caxias, e também aconteceria se fosse usado o PoP Grajau ou o PoP São José, é possível ver que o feixe eletromagnético irá cruzar a pista de transição das aeronaves, o que inviabiliza o atendimento direto para essa rota. Como as torres serão bem baixas devido a proximidade do aeroporto Galeão, cada vez que um avião cruzar a visada direta do enlace, teremos problema com interrupção do sinal

Para contornar essa situação será necessário utilizar um ponto repetidor para que o feixe eletromagnético não cruze a pista. Sendo assim, foi escolhido um ponto repetidor com elevação bastante alta e que fosse possível sua instalação.

Como através do Google Earth não é possível ter precisão do terreno se procurou, através do Sitar – Anatel, locais perto do aeroporto que já houvessem torres instaladas.

Assim, caso seja possível, essas torres poderão ser compartilhadas ou, como já existem torres construídas no local, não será complicado encontrar possível terreno para construção de uma nova estrutura vertical. A figura 13 dá uma visão global do local que foi escolhido o ponto repetidor e a figura 14 mostra as torres encontradas já instaladas, informação essa obtida do Sitar - Anatel.

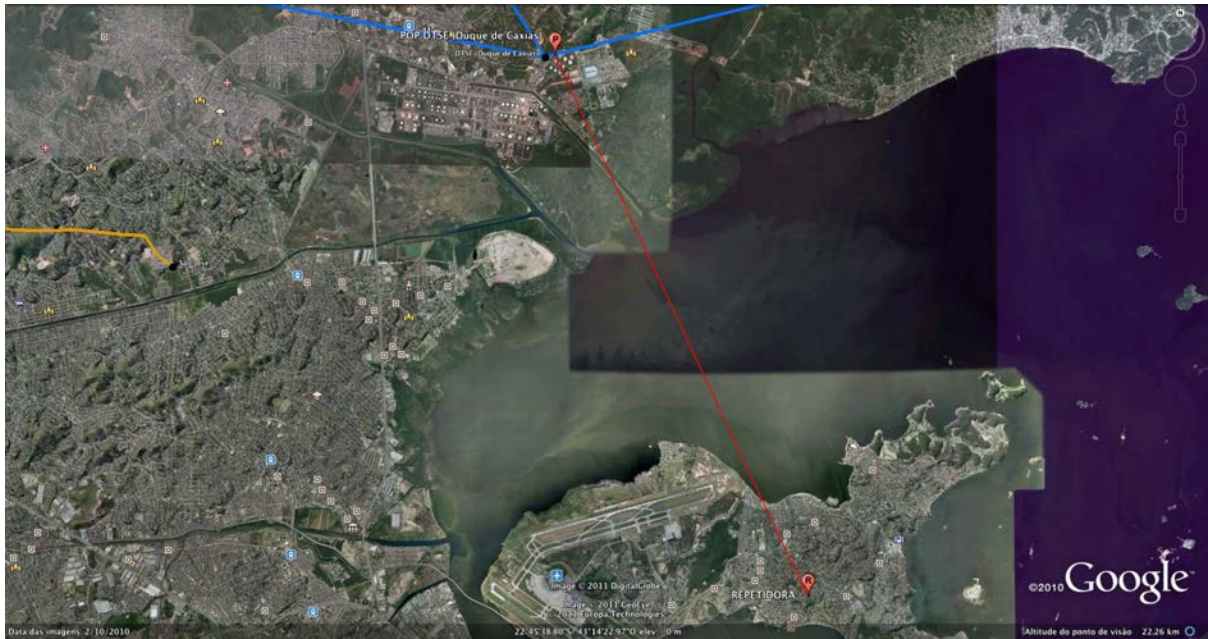


Figura 13: Ponto repetidor



Figura 14: Estruturas verticais existentes

Considerando o ponto repetidor inserido a rota terá como composição os enlaces PoP Duque de Caxias para a repetidora e da repetidora para o Galeão, conforme mostram as figuras 15 e 16.

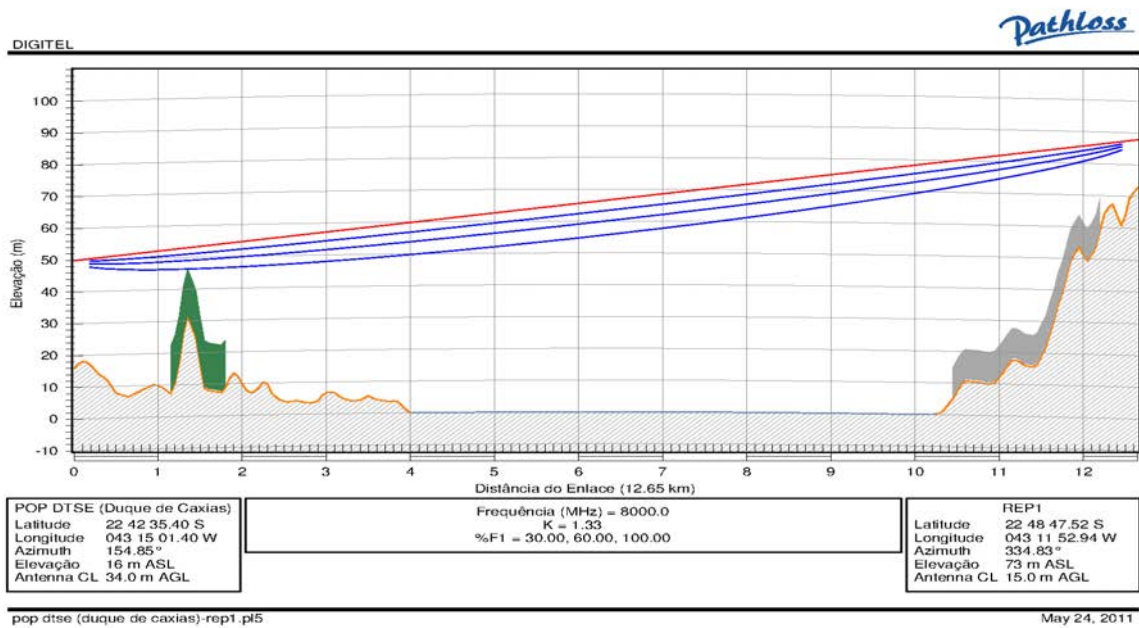


Figura 15: Perfil PoP_Repetidora

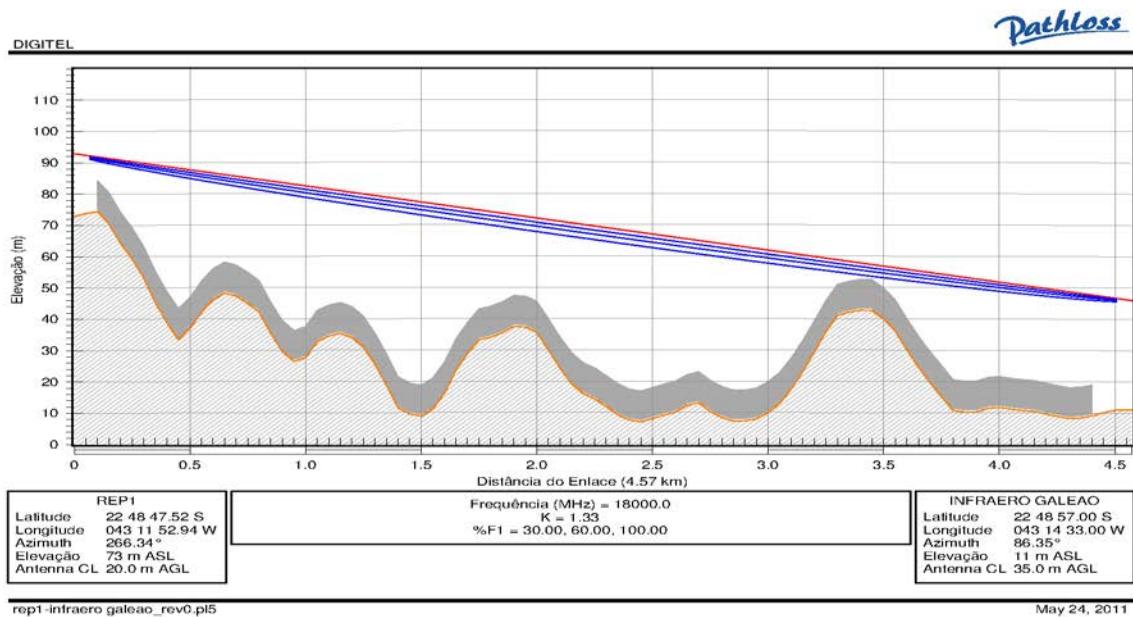


Figura 16: Perfil Repetidora_Galeão

6.3 Limitação da altura das torres (PRÉ-COMAR)

De acordo com a portaria nº 265/GC5, de 13 de maio de 2011, qualquer estrutura vertical que estiver dentro das zonas de proteção especificada por essa portaria estará com a sua altura limitada ou até proibida, dependendo da zona que estiver.

A pista do aeroporto Galeão está classificada nessa portaria como pista de operação IFR-PRECISÃO, ou seja, ele está sujeito a operação de aeronaves em aproximação sujeita às regras de voo por instrumento, que utilizam para orientação informações de azimute e rampa de planeio fornecidas por auxílios à navegação de precisão, tais como: ILS (Instrument Landing System), radar de aproximação de precisão e MLS (Microwave Landing System). Sendo assim, deverá ser analisada as zonas que estão dentro dessa classificação.

Realizando uma análise dos pontos críticos da rota projetada se chega a conclusão que todos os pontos envolvidos nela estão dentro de zonas de proteção. Logo abaixo segue um análise detalhada de cada ponto:

- PoP Duque de Caxias:

Como as duas pistas do aeroporto Galeão tem mais que 1800 metros de comprimento essa pista está classificada como código quatro. O PoP se encontra na zona de proteção do VOR (Rádiorol Onidirecional em VHF - Doppler).

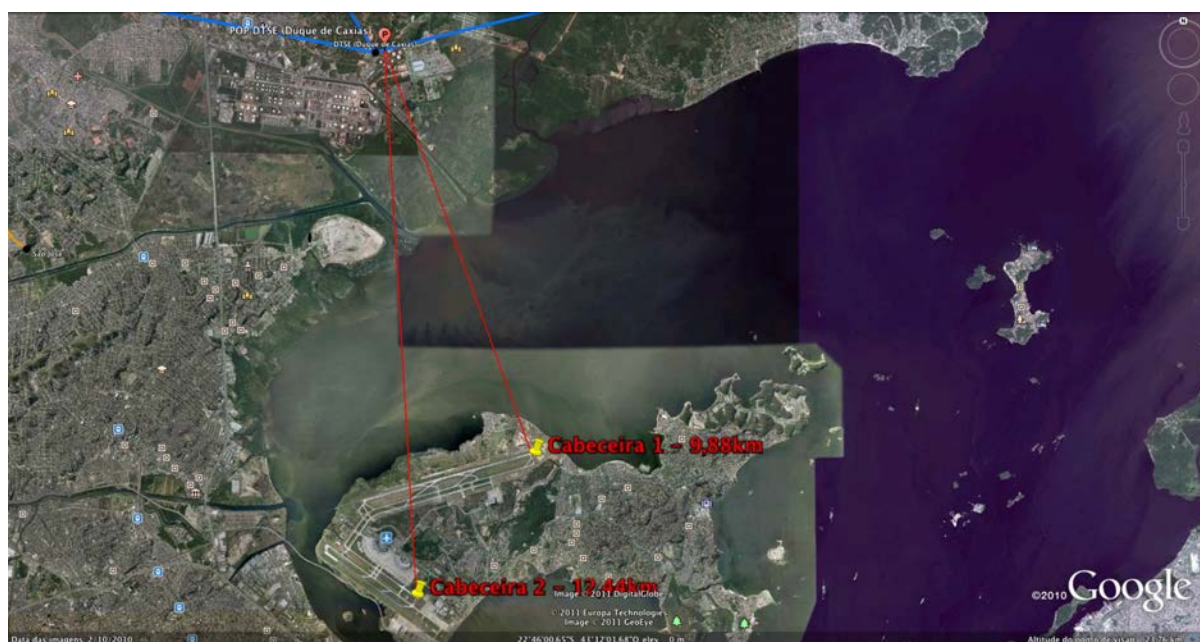


Figura 17: Distância entre PoP e as cabeceiras do aeroporto Galeão

De acordo com o plano básico de proteção de aeródromo classe IFR-NÃO PRECISÃO e IFR-PRECISÃO para a zona de proteção VOR, todos os pontos que estiverem dentro desse plano, considerando que esses pontos estão em iguais altitudes com as

cabeceiras da pista de pouso e com o instrumento em questão, poderão ter na máximo estruturas verticais com 300 metros de altura seguindo um gradiente de elevação de 2%. Na figura 18 é apresentada a zona de proteção VOR.

Sendo assim, a altura da torre do PoP Duque de Caxias fica limitada em 169 metros considerando que o equipamento de auxílio a navegação estará a 9km do PoP e também levando em conta que a altitude do terreno no qual está o PoP será de quinze metros de altitude e no qual está o equipamento para auxílio de navegação está a quatro metros de altitude. Logo abaixo segue figura ilustrativa da zona de proteção para equipamentos de auxílio de navegação Rádiofarol Onidirecional em VHF – Doppler (VOR). Como, por legislaçãoo do Comar, qualquer estrutura vertical que tiver mais de 150 metros de altura deverá ter licença para ser construída, vamos manter o PoP em 100 metros no máximo.

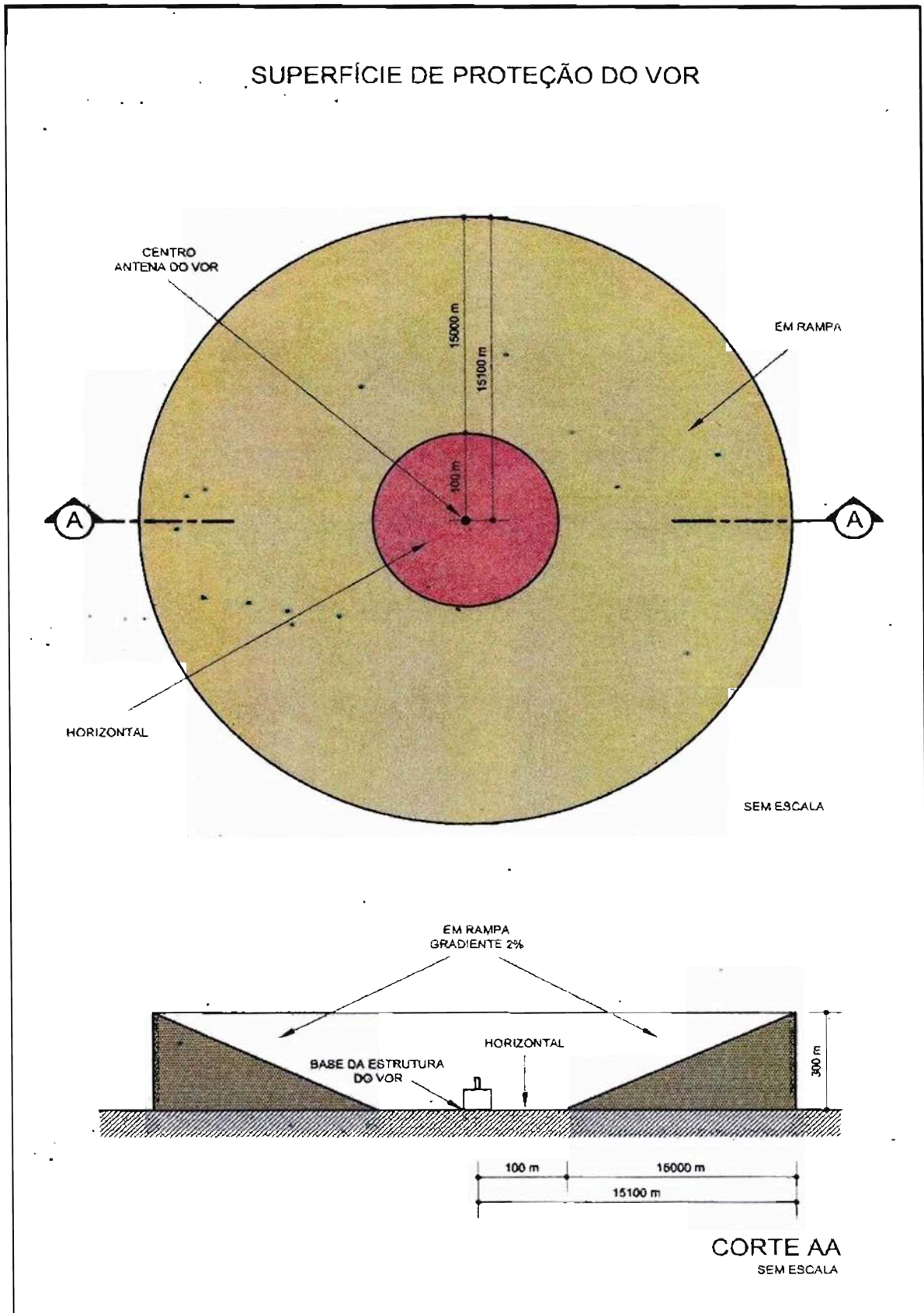


Figura 18: Zona de proteção VOR

- Ponto repetidor:

Como as duas pistas do aeroporto galeão tem mais que 1800 metros de comprimento essa pista está classificada como código quatro. Como a repetidora está a 2,98km da cabeceira 1 e a 4,88km da cabeceira 2, conforme figura 19, e está lateralmente à pista de pouso, a repetidora se encontra na área de horizontal interna, considerando a cabeceira 1 e na área cônica, considerando a cabeceira 2. Será considerado o pior caso, ou seja, a área horizontal interna.



Figura 19: Distância entre a repetidora e as cabeceiras do aeroporto Galeão

De acordo com o plano básico de proteção de aeródromo classe IFR-NÃO PRECISÃO e IFR-PRECISÃO para a área horizontal interna, todos os pontos que estiverem dentro desse plano, considerando que esses pontos estão em iguais altitudes com as cabeceiras da pista de pouso, poderão ter na máximo estruturas verticais com 45 metros de altura.

A altitude do ponto no qual será instalado a torre da repetidora é de setenta metros e a altitude da cabeceira 1 é de sete metros. Sendo assim, a diferença de altitude entre os pontos é de 63 metros, levando a conclusão que nossa torre poderia ter -18 metros.

Como os 45 metros permitidos leva em consideração que os dois pontos estão em altitudes iguais será necessária que a instalação seja submetida a aprovação do COMAR.

- Galeão:

Como as duas pistas do aeroporto galeão tem mais que 1800 metros de comprimento essa pista está classificada como código quatro. Como o Galeão está a 1,8km da cabeceira 1 e a 2,41km da cabeceira 2, conforme figura 20, e está lateralmente à pista de pouso, o Galeão se encontra na área de transição.

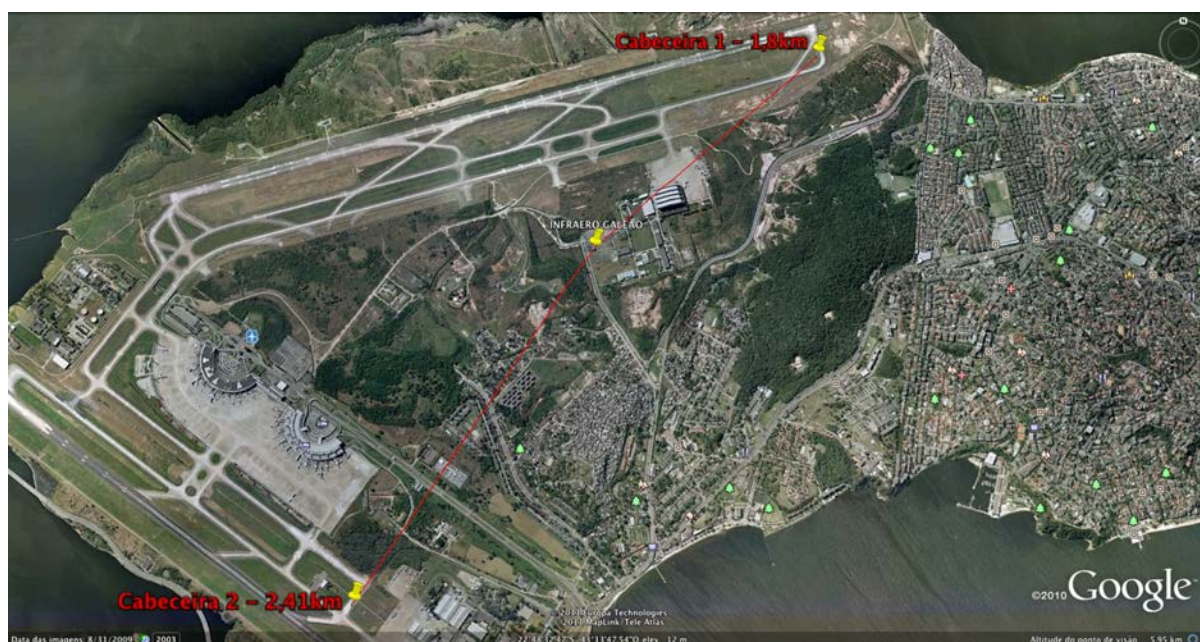


Figura 20: Distância entre Galeão e as cabeceiras do aeroporto Galeão

De acordo com o plano básico de proteção de aeródromo classe IFR-NÃO PRECISÃO e IFR-PRECISÃO para a área de transição, todos os pontos que estiverem dentro desse plano, considerando que esses pontos estão em iguais altitudes com as cabeceiras da pista de pouso, poderão ter na máximo estruturas verticais com 45 metros de altura, considerando uma distância máxima de 314 metros da área de transição e um gradiente de elevação de 14,3%.

Nosso ponto está a 150 metros (aproximado) de uma das zonas de transição de aeronaves. Sendo assim, nossa torre fica limitada a 21,45 metros de altura.

6.4 Análise dos pontos de reflexão (Path Loss)

Conforme pode ser visto pelo perfil mostrado na figura 15 e pela foto mostrada na figura 13 há uma grande massa de água entre as pontas do PoP Duque de Caxias e a repetidora. A água forma um espelho e a onda eletromagnética é totalmente refletida por ela. Dependendo da posição em que ocorre a reflexão a onda refletida é recebida pela antena com atraso em relação ao sinal no qual não ocorre reflexão. Assim, haverá perda de sinal que deverá ser considerado no cálculo da propagação do sinal.

Como o ângulo de incidência é o mesmo que o ângulo de reflexão, primeiro, temos que encontrar o ponto de reflexão que irá atingir a antena receptora. Após, caso ele exista, calcular a perda por reflexão.

Uma forma de fugirmos da zona de reflexão é colocarmos a altura das antenas de forma que se anule o ponto de reflexão. Sendo assim, conforme mostrado na figura 21, o centro da reflexão não afeta mais as antenas, pois está fora da zona de água que está entre o enlace. As alturas, então, serão de 18 metros no PoP Duque de Caxias e de 28 metros na repetidora, considerando nenhum obstáculo além do terreno. Caso exista obstrução essas alturas deverão ser somadas com a altura da obstrução.

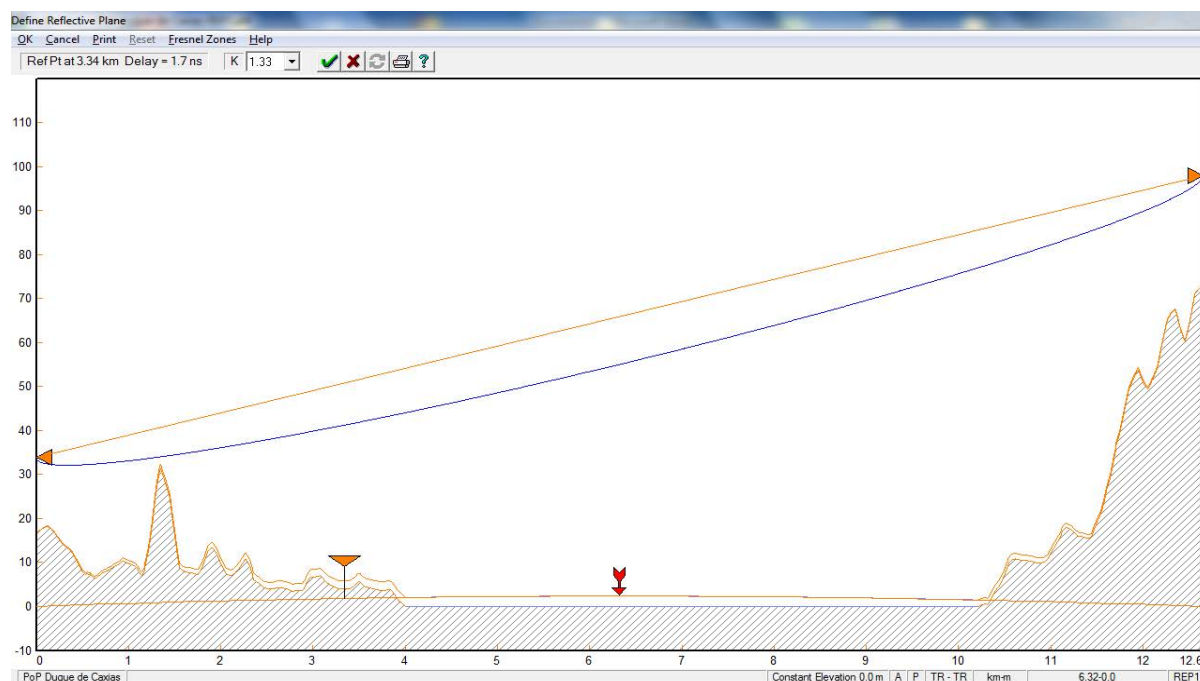


Figura 21: Superfície de reflexão

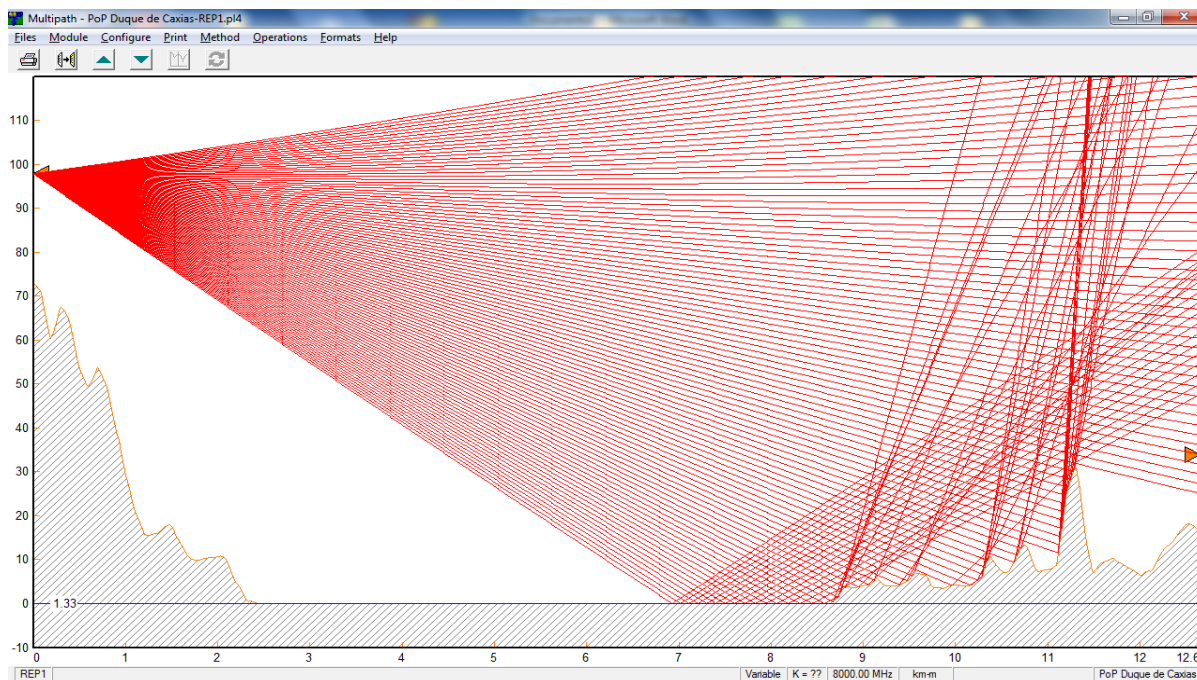


Figura 22: Idealização das linhas de reflexão.

6.5 Cálculo dos índices de propagação (Path Loss)

Os índices de propagação serão calculados tendo como premissas os seguintes itens:

- Margem de desvanecimento de, no mínimo, 25 dB (item 7.4.5 do relatório)
- Disponibilidade anual mínima de 99,990% (itens 7.4.6 e 7.4.7 do relatório)

A velocidade de transmissão deverá ser de 192 Mbps e serão usados rádios com frequência central de 8GHz e 18GHz da Digitel S/A. As características técnicas dos rádios usados são:

- Rádio 8GHz:

Potência de transmissão de 23dBm

Limiar de recepção para 192Mbps de -64dBm

- Rádio 18GHz:

Potência de transmissão de 17dBm

Limiar de recepção para 192Mbps de -61dBm

Para o enlace entre o PoP e a repetidora será usado o rádio com frequência central de 8GHz e para o enlace entre a repetidora e o Galeão será usado o rádio com frequência central de 18GHz. A escolha dos rádios deve-se à distância dos enlaces, que podem ser conferidos nas figuras mostradas nas figuras 21 e 22.

6.5.1 Enlace PoP Duque de Caxias_Repetidora

Como o enlace funcionará na frequência central de 8GHz não será preciso se preocupar com a indisponibilidade devido a chuva, visto que a chuva afeta somente enlaces com frequências maiores que 10 GHz. Porém, será necessário analisar problemas com reflexão e indisponibilidade devido a multipercusso. Como mostra a figura 21, é possível ver que o feixe eletromagnético passa por uma grande massa de água. Essa perda já foi considerada no item 6.4, que pela conclusão é zero.

	POP DTSE (Duque de Caxias)	REP1
Latitude	22° 42 '35.4" S	22° 48 '47.5" S
Longitude	043° 15 '01.40" O	043° 11 '52.94" O
Azimute Verdadeiro (°)	154,85	334,83
Ângulo Vertical (°)	0,13	-0,21
Modelo da Antena	ML-PG1207WSC3 (TR)	ML-PG1207WSC3 (TR)
Ganho da Antena (dBi)	37,1	37,1
Altura da Antena (m)	18	28
Modelo da Linha TX	RGC8	RGC8
Perda Unitária Linha TX (dB/100 m) (dB/100 m)	0	0
Comprimento da Linha TX (m) (m)	38	48
Perda na Linha TX (dB)	0	0
Perda por Conector (dB)	0	0
Perdas por RF Coupler (dB)	0	0
Frequência (MHz)	8000	
Polarização	Vertical	0
Distância do Enlace (km)	12,65	0
Perda por Espaço Livre (dB)	132,57	0
Perda por Absorção Atmosférica (dB)	0,13	0
Margem de Segurança (dB)	1	0
Perda por Reflexão (dB)	0	0
Perda Líquida (dB)	59,5	59,5
Potência do Rádio (dBm)	23	23
Critério de Limiar	1E-6 BER	1E-6 BER

Nível de Limiar (dBm)	-64	-64
Máximo sinal recebido (dBm)	-25	-25
Sinal Recebido (dBm)	-36,5	-36,5
Margem de Desvanecimento (dB)	27,5	27,5
Disponibilidade por Multipercurso no pior Mês (%)	99,99995	99,99995
Indisponibilidade por Multipercurso no pior Mês (sec)	1,32	1,32

Tabela 1: Dimensionamento PoP Duque de Caxias_Repetidora

6.5.2 Enlace Repetidora_Galeão

Como o enlace irá funcionar na frequência central de 18 GHz nossa principal preocupação será a análise da indisponibilidade devido à chuva. Os índices pluviométricos adotados para esse projeto foram retirados da recomendação do ITU-R 837-5 do ITU.

Como nosso enlace se encontra na região sudeste vamos adotar uma média de 90 mm/h como taxa de chuva para 0,01% do tempo. Tendo todos parâmetros de entrada adotados é possível calcular os níveis de recepção para o enlace, conforme é mostrado na tabela 2.

	REP1	INFRAERO GALEAO
Latitude	22° 48 '47.5"S	22° 48 '57.0"S
Longitude	043° 11 '52.94"O	043° 14 '33.00"O
Azimute Verdadeiro (°)	266,34	86,35
Ângulo Vertical (°)	-0,54	0,51
Modelo da Antena	ML-PG12177SC3 (TR)	ML-PG06177SC3 (TR)
Ganho da Antena (dBi)	44,8	38,8
Altura da Antena (m)	20	20
Perda Unitária Linha TX (dB/100 m)	0	0
Comprimento da Linha TX (m)	40	60
Perda na Linha TX (dB)	0	0
Perda por Conector (dB)	0	0
Perdas por RF Coupler (dB)	0	0
Frequência (MHz)	18000	
Polarização	Vertical	
Distância do Enlace (km)	4,57	
Perda por Espaço Livre (dB)	130,78	
Perda por Absorção Atmosférica (dB)	0,25	
Margem de Segurança (dB)	1	
Modelo do Rádio	DSR 18 – 192 MBPS	DSR 18 – 192 MBPS

Potência do Rádio (dBm)	17	17
Designação de Emissão	27M5D7W-256QAM	27M5D7W-256QAM
Critério de Limiar	1E-6 BER	1E-6 BER
Nível de Limiar (dBm)	-61	-61
Máximo sinal recebido (dBm)	-20	-20
Sinal Recebido (dBm)	-32,43	-32,43
Margem de Desvanecimento (dB)	28,57	28,57
Taxa de chuva para 0.01% (mm/hr)	90	
Atenuação por Chuva (dB)	28,57	28,57
Disponibilidade anual Chuva (%)	99,997	99,997
Indisponibilidade anual por Chuva (min)	14,63	14,63

Tabela 2: Dimensionamento Repetidora_Galeão

Utilizando antenas de 1,2 metros na repetidora e de 0,6 metro já é suficiente para atingir a margem mínima de 25 dB e a disponibilidade de 99,990%, requisitos mínimos para garantir o perfeito funcionamento do enlace.

Pequena observação, mas de grande importância. Não há perda nos guias de onda devido ao módulo de potencia da frequência central estar na unidade indoor, conforme informado no item 6.1. O que passa pelo guia de onda é a frequência intermediária fornecida pela unidade indoor, que, conforme manual, é de 140MHz para o receptor e de 350 MHz para o transmissor.

6.6 Cálculo dos níveis interferentes (Wings Planner)

6.6.1 Enlace PoP Duque de Caxias_Repetidora

WINGS Planner - Rx Interference Analysis

RX Site	Link ID	Rolloff Rx	Tx.Rate (Mbps)	Azimuth (°)	Worst Ch.	Worst Deg. (dB)	Best Ch.	Best Deg. (dB)	S (dBm)
POP DTSE (Duque de Caxias)	POP DTSE-(DUQUE DE CAXIAS)_REP1	0.40000	2.05	153.07	8B	37.79	1A	22.08	-36.79
Channels									
Ch.	F (MHz)	Width (MHz)	Pol	I (dBm)	Deg.(dB)	S/I (dB)			
1A	7747.70	29.65	H	-101.23	22.08	64.44			
2A	7777.35	29.65	V	-86.33	36.95	49.54			
3A	7807.00	29.65	H	-101.04	22.27	64.25			
4A	7836.65	29.65	V	-93.21	30.07	56.42			
5B	7866.30	29.65	V	-91.99	31.29	55.20			
6B	7895.95	29.65	V	-95.00	28.29	58.21			
7B	7925.60	29.65	H	-99.17	24.12	62.38			
8B	7955.25	29.65	V	-85.50	37.79	48.71			
REP1	POP DTSE-(DUQUE DE CAXIAS)_REP1	0.40000	2.05	333.07	8B'	48.02	6B'	19.85	-36.79
Channels									
Ch.	F (MHz)	Width (MHz)	Pol	I (dBm)	Deg.(dB)	S/I (dB)			
1A'	8059.02	29.65	H	-101.15	22.16	64.36			
2A'	8088.67	29.65	V	-96.68	26.62	59.89			
3A'	8118.32	29.65	H	-100.90	22.41	64.11			
4A'	8147.97	29.65	V	-103.46	19.87	66.66			
5B'	8177.62	29.65	V	-102.78	20.54	65.99			
6B'	8207.27	29.65	V	-103.48	19.85	66.69			
7B'	8236.92	29.65	H	-99.19	24.11	62.40			
8B'	8266.57	29.65	V	-75.26	48.02	38.47			

Figura 23: Plano de frequência PoP Duque de Caxias_Repetidora

De acordo com o plano acima estabelecido pelo software Wings Planner e tendo que o limiar do rádio de frequência central 8GHz é de -64dBm, precisamos que os canais escolhidos tenham sinais interferentes com níveis de -84dBm ou menos. Sendo assim, os canais 1, 3, 4, 5, 6 e 7 são os melhores candidatos.

6.6.2 Enlace Repetidora_Galeão

WiNGS Planner - Rx Interference Analysis

RX Site	Link ID	Rolloff Rx	Tx.Rate (Mbps)	Azimuth (°)	Worst Ch.	Worst Deg. (dB)	Best Ch.	Best Deg. (dB)	S (dBm)
INFRAERO GALEAO	INFRAERO GALEAO_REP1	0.4	2.05	86.82	1A'	20.12	3A'	15.55	-38.14
Channels									
Ch.	F (MHz)	Width (MHz)	Pol	I (dBm)	Deg.(dB)	S/I (dB)			
+ 1A'	19287.50	27.50	V	-103.53	20.12	65.38			
+ 2A'	19315.00	27.50	V	-104.38	19.29	66.23			
+ 3A'	19342.50	27.50	V	-108.18	15.55	70.04			
9B'	19507.50	27.50	H	---	---	---			
11C'	19562.50	27.50	H	---	---	---			
REP1(2)	INFRAERO GALEAO_REP1	0.4	2.05	266.82	3A	32.95	11C	9.63	-38.14
Channels									
Ch.	F (MHz)	Width (MHz)	Pol	I (dBm)	Deg.(dB)	S/I (dB)			
+ 1A	17727.50	27.50	V	-100.77	22.86	62.63			
+ 2A	17755.00	27.50	V	-99.20	24.43	61.06			
+ 3A	17782.50	27.50	V	-90.66	32.95	52.52			
9B	17947.50	27.50	H	---	---	---			
+ 11C	18002.50	27.50	H	-114.49	9.63	76.34			

Figura 24: Plano de frequência Repetidora_Galeão

De acordo com o plano acima estabelecido pelo software Wings Planner e tendo que o limiar do rádio de frequência central 18GHz é de -61dBm, precisamos que os canais escolhidos tenham sinais interferentes com níveis de -81dBm ou menos. Sendo assim, os canais 1, 2, 3, 9 e 11 são os melhores candidatos.

6.7 Cálculo das distâncias entre as antenas

A distância entre as cinco antenas será calculada de forma que uma não interfira na outra. Para tanto, tendo o diagrama de irradiação das antenas utilizadas, será necessário calcular o nível de recepção entre as antenas.

Seguindo uma lógica que, para que nosso sistema rádio não interprete o sinal recebido pela antena vizinha como sinal de informação, esse deverá estar com um nível de recepção menor que o limiar do rádio. Assim, pela equação 5.8.5.1, tendo como base a perda por espaço livre, teremos a distância mínima que nossas antenas deverão estar uma das outras.

Outro ponto importante e já considerado no ítem 6.6, elas estarão com as polarizações cruzadas, o que diminui bastante a relação de ganho da antena.

Seguindo a lógica acima, como as antenas terão um ângulo de 90^0 entre elas, usaremos o ganho das antenas para essa angulação e considerando o ganho de polarização cruzada. Para as antenas que estamos utilizando nos rádios de 8GHz vamos utilizar como redução de ganho o valor de -63dB. Precisamos saber a distância entre as antenas que haverá uma recepção entre elas de, no máximo, -64dBm, que é o limiar de recepção do rádio utilizado.

Assim, utilizando a equação 5.8.5.1, temos que para ter esse nível de recepção entre as antenas elas precisam estar a uma distância de, no mínimo, três metros.

Considerando agora as antenas que iremos utilizar nos rádio de 18GHz temos que sua redução de ganho no ângulo de 90^0 é de -60dB. Precisamos saber a distância entre as antenas para termos um nível de recepção de, no máximo, -61dBm, que é o limiar de recepção do rádio utilizado.

Assim, utilizando a equação 5.8.5.1, temos que para ter esse nível de recepção entre as antenas elas precisam estar a uma distância de, no mínimo, quatro metros.

Assim, a torre do PoP deverá ter 40 metros, a repetidora deverá 35 metros e a torre do Infraero fica limitada a 21,45 metros.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho é apresentado o cálculo de uma rede wireless com a utilização de softwares como o Pathloss da Contract Telecom (software referência para cálculo de índices de propagação) e o Wings Planner da Wings Telecom (auxílio no cálculo de redes interferentes). Essa rota irá compor o Plano Nacional de Banda Larga, motivação desse trabalho.

Nele foram considerados alguns pontos que podem vir a atrapalhar a viabilidade de um rádio enlace como problemas com reflexão, problemas com enlaces interferentes, limitações de estruturas verticais devido a proximidade à aeroportos e equipamentos de auxílio à navegação e problemas devido a multipercusso das ondas eletromagnéticas.

Tendo como base os dados apresentados a rota é viável para cinco enlaces em paralelo de 192Mbps. Deverá ser considerada a distância entre as antenas, calculada no item 6.7, para que não ocorra interferência intersistema. Para que não ocorra reflexão as antenas deverão ser colocadas de forma intercalada, ou seja, para cada três metros que se suba do lado do PoP deverá ser rebaixado três metros do lado da repetidora.

Uma proposta de melhoria para esse procedimento aqui apresentado seria considerar nos cálculos de indisponibilidade do rádio enlace dados sobre o MTTF (mean time to failure) e o MTBF (mean time between failures), que são dados sobre a confiabilidade do rádio.

8. ANEXOS

8.1 HISTÓRICO TELEBRÁS

8.1.1 Anos 50

As concessões dos serviços de telecomunicações eram distribuídas indistintamente pelos governos federal, estadual e municipais propiciando que empresas operadoras surgissem e se expandissem do forme desordenada, com custo onerosos e sem qualquer compromisso com a qualidade.

No final dessa década existiam, aproximadamente, 1000 companhias telefônicas, com grandes dificuldades operacionais e de interligação.

8.1.2 Anos 60

O primeiro passo para o desenvolvimento ordenado das telecomunicações no Brasil foi dado com a aprovação pelo Congresso Nacional, em 27 de agosto de 1962, da Lei 4.117, instituindo o Código Brasileiro de Telecomunicações, responsável pela transformação radical do panorama do setor, disciplinando os serviços telefônicos e colocando-os sob o controle da autoridade federal.

O Código Brasileiro de Telecomunicações definiu a política básica de telecomunicações, a sistemática tarifária e o planejamento de integração das telecomunicações em um Sistema Nacional de Telecomunicações (SNT) além de:

- criar o Conselho Nacional de Telecomunicações subordinado à Presidência da República, com as atribuições de coordenar, supervisionar e regulamentar o setor de telecomunicações;
- autorizar a criação da EMBRATEL - Empresa Brasileira de Telecomunicações S/A com a finalidade de implementar o sistema de comunicações a longa distância, ligando, entre si, as capitais e as principais cidades do País;
- instituir o FNT - Fundo Nacional de Telecomunicações, destinado a financiar as atividades da Embratel.

Em 1967 foi aprovado o Decreto-Lei nº 200 que, entre outros, criou o Ministério das Comunicações.

8.1.3 Anos 70

No início dessa década o serviço de telefonia de longa distância apresentava um bom nível de qualidade e a telefonia urbana era deficiente. Como solução foi autorizada a criação de uma sociedade de economia mista através da Lei 5792, de 11 de julho de 1972. Assim nascia a Telecomunicações Brasileiras S/A - TELEBRÁS, vinculada ao Ministério das Comunicações, com atribuições de planejar, implantar e operar o SNT.

Neste sentido a TELEBRÁS instituiu em cada estado uma empresa-polo e promoveu a incorporação das companhias telefônicas existentes, mediante aquisição de seus acervos ou de seus controles acionários.

Este período foi marcado por uma expansão expressiva da planta telefônica, passando de 1,4 milhões para 5 milhões de terminais instalados.

Foi nesse período que a TELEBRÁS implantou em Campinas, São Paulo, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento - CpQD, para o desenvolvimento tecnológico do setor.

Foi também estabelecida uma política industrial visando a consolidação de um parque industrial brasileiro, voltado à demanda do SNT.

8.1.4 Anos 80

As significativas modificações no cenário político e difícil situação econômico-social do País afetaram o setor de telecomunicações, dificultando a sua expansão conforme o esperado. Mesmo assim:

- consolidou-se o processo de incorporação das companhias telefônicas, ficando a TELEBRÁS responsável pela operação de mais de 95% dos terminais telefônicos em serviço e o restante por apenas 5 empresas de serviços telefônicos não pertencentes ao Sistema TELEBRÁS;
- foram lançados os satélites de comunicações BrasilSat-I em 1985 e o BrasilSat-II em 1986, através dos quais se conseguiu a integração total do território brasileiro, levando sinais de telefonia, telegrafia e televisão a todas as regiões do País;

- a existência dos satélites possibilitou o lançamento do Programa de Popularização e Interiorização das Telecomunicações, destinado a levar ao maior número de localidades brasileiras as facilidades de comunicações e proporcionar maior integração entre cidadãos e suas comunidades.

8.1.5 Anos 90

Nesta década a ênfase da TELEBRÁS estava voltada para a retomada do crescimento e da qualidade na prestação dos serviços de telecomunicações.

No campo do desenvolvimento industrial, em parceria com universidades e indústrias, a TELEBRÁS desenvolveu diversos produtos vinculados a tecnologias de vanguarda, como:

- centrais de comutação telefônica digital, que permitem grande variedade de serviços não disponíveis nas centrais convencionais;
- fibra-ótica, que permite altíssima capacidade de transmissão de informações;
- sistema de comunicação de dados e textos, permitindo a interligação de terminais e computadores à rede telefônica.

Ao completar 25 anos, em 1997, a TELEBRÁS já havia instalado mais de 17 milhões de telefones fixos, com tecnologia própria, de vanguarda e de reconhecimento mundial.

Em julho de 1998, o Sistema Telebrás alcançou a marca de 18,2 milhões de terminais fixos instalados e 4,6 milhões de celulares, em 22,9 mil localidades.

Em 29 de julho de 1998 o Sistema TELEBRÁS foi privatizado.

8.2 Apresentação dos Rádio DSR

O DSR-6000...38000 é um rádio digital de operação ponto a ponto com configuração split, composto de uma unidade indoor comum a toda a família e unidades outdoor com modelos para cada faixa de frequência. Com capacidades de 16 x 2.048 kbit/s ou 80 x 2.048kbit/s, o produto dispõe de entrada de alimentação com fonte 48VDC (36 a 60VDC) ou AC full range.

O DSR-6000...38000/200M pode operar em 1+0 e 1+1. Na opção de configuração 1+1, o sistema poderá operar com ou sem diversidade de frequência e espaço, com hitless na comutação para o sistema 1+1 na RX. Sendo assim, dependendo da frequência, poderemos

ter as seguintes configurações:

- 1 + 0; sem proteção;
- 1 + 1; sem diversidade e com hitless na comutação para o sistema 1+1 no RX.
- 1 + 1f; apenas com diversidade de frequência e com hitless na comutação 1+1 no RX;

A potência de transmissão é configurável em passos de 1dB, aplicável conforme legislação Anatel.

Estes rádios foram desenvolvidos usando alta tecnologia em processamento digital de sinais para atendimento de voz e dados em longas distâncias. Empregam técnicas avançadas de equalização adaptativa e correção de erros (FEC), proporcionando enlaces sem erros mesmo nas condições mais adversas. O FEC apresenta uma capacidade de correção de 4%, que é feita junto com o fluxo de dados (não há retransmissões).

É disponibilizada eficiência espectral programável, ou seja, mesmo sem nenhum hardware adicional ou inserção de filtros, os rádios podem ser programados por software para diversas bandas e canais. Os rádios possuem três níveis de filtragem: filtro de cavidade, filtro de FI e filtro em software (DSP). É possível fazer a configuração local e remota do enlace de rádio, facilitando a instalação.

Apresentam gerenciamento SNMP, que permite a configuração e a verificação do status dos rádios local e remoto, acionamento e verificação de resultados de testes, monitoramento do sinal recebido e gerência SNMP.

Dependendo da aplicação do cliente, o rádio pode ser adquirido em uma das opções de interface abaixo para cada uma das opções de faixa de frequência:

- 16 interfaces G.703 com 2,048 kbit/s cada;
- 80 interfaces G.703 com 2,048 kbit/s cada;

Todos os modelos dispõem de:

- Interfaces Ethernet Switch;
- Canal de voz auxiliar de voz hotline;
- RS232 / 57600 para configuração;
- Ethernet para telnet, SSH, SNMP;

- Conectores para entrada e saída de alarmes.

➤ **INTERFACES**

- 16 até 80 Interfaces G.703;
- 03 Interfaces Ethernet Switch;
- 01 Interface SNMP;
- 01 Interface GbEthernet Elétrica/Óptica;
- 01 Interface auxiliar V.35 (modelo 80E1);
- 01 Interface de voz auxiliar hotline 2 Fios;
- 01 Interface de voz auxiliar VF 4 fios;
- 01 Interface RS232 para configuração;
- Entrada e saída de alarmes.

➤ **INTERFACES ODU**

- conector TNC p/ FI e alimentação;
- conector TNC c/ o nível de sinal recebido em tensão;

➤ **GERÊNCIA**

Apresenta gerenciamento SNMP, que permite funções de operação, gerência de falhas/alarmes, gerência de desempenho, dados de performance, gerência de configuração, estatísticas, inventário, medições e monitoramento.

Essas funções permitem:

- Configuração e a verificação do status dos rádios local e remoto;
- Acionamento e verificação de resultados de testes;
- Monitoramento do sinal recebido;

- Monitoramento e controle de potência de transmissão;
- Configuração de canais de RF de transmissão e recepção;
- Controle de alarmes sem gerar interferência no tráfego e gerência SNMP.

➤ **MEDIÇÕES E MONITORAÇÕES DISPONÍVEIS**

Os itens que podem ser medidos, monitorados ou visualizados são os seguintes:

- Medições em dBm: Nível de sinal recebido (RSSI) e potência transmitida (FORTX);
- Medição de SQ, ERROR;
- Indicação de LOS, AIS, queda de portadora, alta taxa de erro, queda de relógio, queda no transmissor;
- Frequências de transmissão e recepção.



Figura 25: Unidade ODU



Figura 26 : Unidade ODU

8.2.1 Descrição dos modelos

➤ *ITEM 1 - RÁDIO DIGITAL 18 GHZ*

Composto por unidade Indoor (IDU) e Outdoor (ODU).

IDU - Unidade Indoor para instalação em rack de 19". Apresenta conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), três interface Ethernet Switch e uma interface Ethernet para Gerenciamento. Apresenta uma porta GbEthernet Elétrica e uma porta GbEthernet Óptica. Possui uma interface de dados V.35 (DB25 padrão ISO2110), entrada e saída de alarmes externos e um canal de voz auxiliar hotline. Configuração através de terminal de console, WEB Config ou Gerenciamento SNMP. Alimentação -48VDC (-20 a -60VDC).

ODU B1-L - Unidade Outdoor B1-L (B1-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 17.700,0 GHz a 18.000,0 GHz e de recepção de 19.260,0 GHz a 19.560,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UBR220 para conexão de RF.

ODU B1-H - Unidade Outdoor B1-H (B1-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 19.260,0 GHz a 19.560,0 GHz e de recepção de 17.700,0 GHz a 18.000,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UBR220 para conexão de RF.

ODU B2-L - Unidade Outdoor B2-L (B2-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 17.840,0 GHz a 18.140,0 GHz e de recepção de 19.400,0 GHz a 19.700,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UBR220 para conexão de RF.

ODU B2-H - Unidade Outdoor B2-H (B2-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 19.400,0 GHz a 19.700,0 GHz e de recepção de 17.840,0 GHz

a 18.140,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UBR220 para conexão de RF.

ODU B3-L - Unidade Outdoor B3-L (B3-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 17.700,0 GHz a 18.140,0 GHz e de recepção de 19.260,0 GHz a 19.700,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UBR220 para conexão de RF.

ODU B3-H - Unidade Outdoor B3-H (B3-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 19.260,0 GHz a 19.700,0 GHz e de recepção de 17.700,0 GHz a 18.140,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UBR220 para conexão de RF.

➤ **ITEM 2 - RÁDIO DIGITAL 8 GHZ**

Composto por unidade Indoor (IDU) e Outdoor (ODU).

IDU - Unidade Indoor para instalação em rack de 19". Apresenta conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), três interface Ethernet Switch e uma interface Ethernet para Gerenciamento. Apresenta uma porta GbEthernet Elétrica e uma porta GbEthernet Óptica. Possui uma interface de dados V.35 (DB25 padrão ISO2110), entrada e saída de alarmes externos e um canal de voz auxiliar hotline. Configuração através de terminal de console, WEB Config ou Gerenciamento SNMP. Alimentação -48VDC (-20 a -60VDC).

ODU B1-L - Unidade Outdoor B1-L (B1-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.731,0 GHz a 7.867,0 GHz e de recepção de 8.042,0 GHz a 8.178,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU B1-H - Unidade Outdoor B1-H (B1-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 8.042,0 GHz a 8.178,0 GHz e de recepção de 7.731,0 GHz a 7867,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU B2-L - Unidade Outdoor B2-L (B2-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.835,0 GHz a 7931,0 GHz e de recepção de 8.146,0 GHz a 8.282,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU B2-H - Unidade Outdoor B2-H (B2-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 8.146,0 GHz a 8.282,0 GHz e de recepção de 7.835,0 GHz a 7931,0 GHz. Apresenta um conector tipo N fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

➤ **ITEM 3 - RÁDIO DIGITAL 7,5 GHZ**

Composto por unidade Indoor (IDU) e Outdoor (ODU).

IDU - Unidade Indoor para instalação em rack de 19". Apresenta conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), três interface Ethernet Switch e uma interface Ethernet para Gerenciamento. Apresenta uma porta GbEthernet Elétrica e uma porta GbEthernet Óptica. Possui uma interface de dados V.35 (DB25 padrão ISO2110), entrada e saída de alarmes externos e um canal de voz auxiliar hotline. Configuração através de terminal de console, WEB Config ou Gerenciamento SNMP. Alimentação -48VDC (-20 a -60VDC).

ODU AL - Unidade Outdoor AL (A-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.425 GHz a 7.484GHz e de recepção de 7.579 GHz a 7.638 GHz. Apresenta um conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência

Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU AH - Unidade Outdoor AH (A-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.579 GHz a 7.638 GHz e de recepção de 7.425 GHz a 7.484 GHz. Apresenta um conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU BL - Unidade Outdoor BL (B-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.456 GHz a 7.512 GHz e de recepção de 7.610 GHz a 7.666 GHz. Apresenta um conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU BH - Unidade Outdoor BH (B-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.610 GHz a 7.666 GHz e de recepção de 7.456 GHz a 7.512 GHz. Apresenta um conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU CL - Unidade Outdoor CL (C-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.484 GHz a 7.540 GHz e de recepção de 7.638 GHz a 7.694 GHz. Apresenta um conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU CH - Unidade Outdoor CH (C-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.638 GHz a 7.694 GHz e de recepção de 7.484 GHz a 7.540 GHz. Apresenta um conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU DL - Unidade Outdoor DL (D-Low) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.512 GHz a 7.570 GHz e de recepção de 7.666 GHz a 7.724 GHz. Apresenta um conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

ODU DH - Unidade Outdoor DH (D-High) para instalação em torre. Opera nas frequências de transmissão de 7.666 GHz a 7.724 GHz e de recepção de 7.512 GHz a 7.570 GHz. Apresenta um conector TNC fêmea para entrada e saída de FI (Frequência Intermediária), um conector BNC fêmea para monitoração do sinal recebido (RSSI) e um conector tipo UDR84 para conexão de RF.

8.3 Referencial teórico

8.3.1 Onda Eletromagnética

As ondas de rádio que se propagam entre duas antenas transmissora e receptora são denominadas de ondas eletromagnéticas. A antena transmissora é um transdutor de energia elétrica em energia eletromagnética, pois transforma as variações de tensão e corrente produzidas pelo equipamento transmissor em ondas eletromagnéticas capazes de se propagarem no espaço. A antena receptora desempenha papel contrário, transformando a energia das ondas eletromagnéticas em variações de tensão e corrente necessárias para o funcionamento do equipamento receptor.

A figura 27 ilustra a propagação dessas ondas eletromagnéticas, onde a interface entre os equipamentos transmissor e receptor com as antenas é a linha de transmissão, que no nosso caso seria o ar atmosférico.

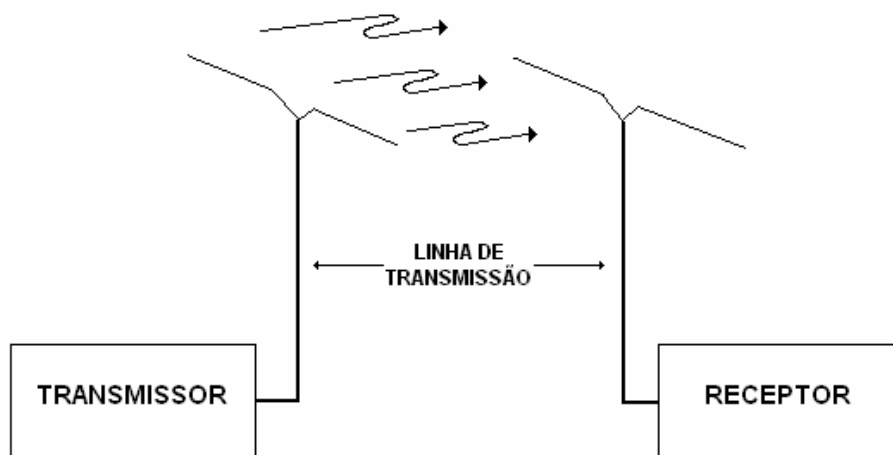


Figura 27: Propagação das ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas caracterizam-se pelos campos elétricos (E) e magnéticos (H) que se propagam na atmosfera. As ondas eletromagnéticas são representadas, normalmente, por duas senoides, uma para cada campo, perpendiculares entre si (ver figura 28). A direção de propagação por sua vez é perpendicular ao plano formado pelos dois campos.

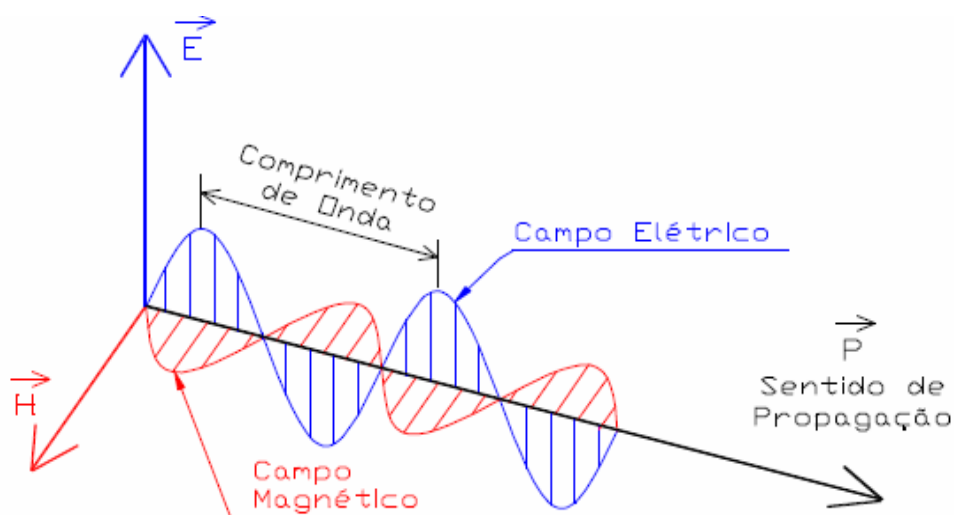


Figura 28: Campo elétrico, campo magnético e sentido da propagação.

A velocidade de propagação delas é independente da fonte geradora, estando relacionada ao comprimento de onda (λ) e à frequência (f) por

$$v = \lambda \cdot f \quad (8.3.1.1)$$

Essa velocidade será constante e igual a 3×10^8 m/s quando o meio considerado for o vácuo. Em um meio qualquer essa velocidade é menor, sendo que a relação apresentada na equação (8.3.1.1) se mantém sempre válida, dependendo do índice de refração do meio no qual a onda está se propagando.

A maneira como os campos se orientam no espaço é conhecida por polarização. A certa distância da fonte, onde o conceito de onda plana pode ser aplicado, e imaginando-se a direção de propagação paralela a superfície da Terra, diz-se que a onda é verticalmente polarizada quando o campo elétrico é perpendicular à superfície da Terra e horizontalmente polarizada quando o campo é paralelo a superfície da Terra, conforme ilustrado na figura 29.

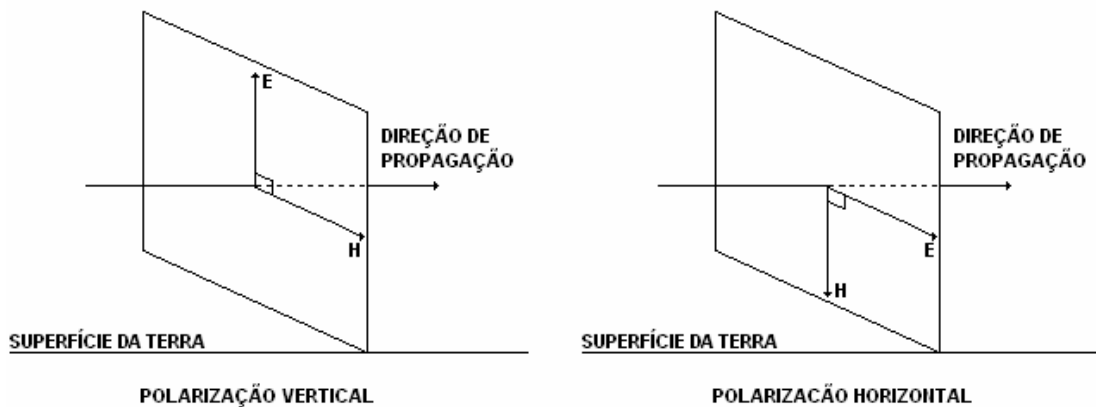


Figura 29: Polarização da onda.

Para compreensão do conceito de onda plana, consideramos uma fonte de ondas eletromagnéticas que irradie energia igualmente em todas as direções representada pela figura 30. A certa distância da fonte, em qualquer direção, as intensidades e fases dos campos serão idênticas. Considerando uma esfera de raio R em torno da fonte, a fase é a mesma em todos os pontos, formando o que se chama uma frente de onda.

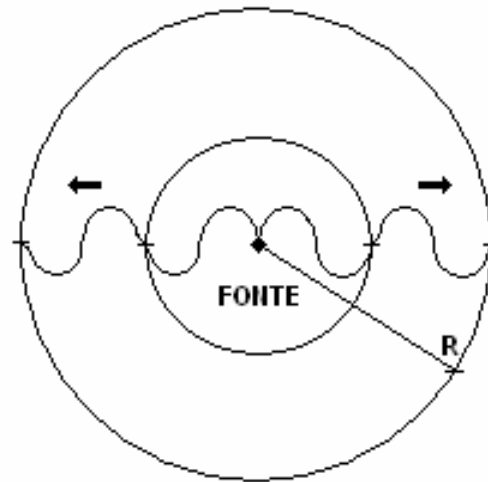


Figura 30 Conceito de frente de onda.

Segundo (SILVA, 1977): “A uma distância suficientemente grande da fonte, as superfícies das esferas serão tão extensas que, próximo ao ponto de recepção, podem ser consideradas planas. Assim, entende-se o conceito de onda plana, onde os campos possuem valores constantes em um plano transversal à direção de propagação.”

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] DIGITEL. Disponível em: <<http://www.digitel.com.br>>. Acesso em: 13 de Outubro de 2010.
- [2] WIKIPÉDIA, A enciclopédia livre. Disponível em: <www.wikipedia.org>. Acesso em: 03 de março de 2011.
- [3] MANUAL DE RÁDIOS DIGITAIS DE 7,5; 8 e 18GHz. DIGITEL S/A.
- [4] MANUAL DAS ANTENAS DIGITAIS DE 7,5; 8 e 18 GHz. COMBA TELECOM
- [5] MANUAL DO SOFTWARE PATHLOSS 4: Contract Telecom.
- [6] PORTARIA N^o 256/GC5 DE 13 DE MAIO DE 2011. Comando da Aeronáutica.
- [7] RECOMMENDATION ITU-R P.530. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems
- [8] RECOMMENDATION ITU-R P. 676-3. Attenuation by atmospheric gases. Geneva. 1995.
- [9] RECOMMENDATION ITU-R P.838. Specific attenuation model for rain for use in prediction methods
- [10] RECOMMENDATION ITU-R.P.837. Characteristics of precipitation for propagation modelling
- [11] SILVA, Gilberto Vianna Ferreira da. *Sistemas Radiovisibilidade*. 1 ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos:Embratel, 1977.
- [12] EDSON MITSUGO MIYOSHI E CARLOS ALBERTO SANCHES: PROJETOS DE SISTEMAS RÁDIO 2^o REVISÃO– EDITORA ÉRICA – 2005.
- [13] SIZUN, H. *Radio Wave propagation for telecommunication applications*. Belfort: Springer, 2003