

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

DIOGO ATIÊ S. ONGARATTO

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**PROJETO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO
MICROONDAS – RÁDIO PONTO A PONTO**

Porto Alegre
(2009)

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

**PROJETO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO
MICROONDAS – RÁDIO PONTO A PONTO**

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.

ORIENTADOR: Álvaro Augusto Almeida de Salles

Porto Alegre
(2009)

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

DIOGO ATIÊ S. ONGARATTO

PROJETO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MICROONDAS – RÁDIO PONTO A PONTO

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. Álvaro Augusto Almeida de Salles, UFRGS
Doutor em Engenharia Elétrica (University of London -
Londres, Inglaterra)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Álvaro Augusto Almeida de Salles, UFRGS
Doutor pela University of London - Londres, Inglaterra

Prof^a. Dr^a. Liane Ludwig Loder, UFRGS
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Eng^o. Paulo Ilaga Serafini, UFRGS
Engenheiro pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Porto Alegre, Dezembro de 2009.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai e ao meu irmão pela dedicação e incentivo em todos os momentos difíceis, tendo contribuído de forma decisiva para a realização desta conquista.

Dedico também, de maneira especial, à minha mãe que de alguma maneira contribuiu para a efetivação deste projeto.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Rejane pela educação, pelo empenho, apoio, compreensão e amor dedicados a mim durante sua vida.

Ao meu pai Arnaldo pelo apoio e compreensão ao longo desses anos de graduação.

Ao meu irmão César, igualmente pelo apoio, pela compreensão, e principalmente pela amizade e companheirismo nessa jornada.

Ao professor Álvaro Augusto Almeida de Salles pelo apoio e orientação dados durante a realização deste trabalho.

Ao engenheiro Paulo Ilaga Serafini, por sua disponibilidade e fundamental colaboração para a elaboração deste documento.

Aos meus colegas e amigos de faculdade pela amizade e pelo auxílio nas horas difíceis.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, professores e funcionários, pela disponibilidade e pelos serviços prestados.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Hoje em dia as pessoas necessitam serviços de comunicação móveis, seguros e confiáveis. Quase todo mundo tem um telefone celular e não pode viver sem ele sem ter de reorganizar não só a vida profissional, mas também a pessoal. Neste mundo em que ninguém pode parar ou esperar para receber uma resposta, onde tudo tem de ser em tempo real, onde tempo é dinheiro, as pessoas não podem mais pagar o preço de ficarem isoladas, sem comunicação. Neste contexto está inserido o conceito de telecomunicações móveis.

Para proporcionar serviços melhores, é necessário ter serviços de comunicação eficientes, com uma taxa de transmissão sempre crescente. Assim, as pessoas podem fazer chamadas, enviar fotos, verificar e-mails, usar um sistema de navegação GPS, fazer chamadas com vídeo, e muitas outras coisas, entre elas, navegar na internet e se comunicar com pessoas em qualquer lugar do globo terrestre. A tecnologia, cada vez mais, fornece telefones celulares menores e com tantas funcionalidades que alguns destes, chamados smart phones, competem no mercado de laptops.

Mas como tudo na vida, há sempre uma tecnologia por trás do serviço prestado. Um telefone celular é a menor parte da cadeia de comunicação. Este é inútil se não houver equipamentos como, por exemplo, as antenas, os rádios e etc. É exatamente a tecnologia inserida por trás de um simples aparelho celular, que será discutida ao longo deste trabalho.

Então, essas ligações de rádio deverão ser bem concebidas e dimensionadas, de forma que não haja falhas no sistema. Hoje, as falhas nas redes de transmissão de empresas de telefonia, significam grandes prejuízos para a empresa e seus usuários, bem como para a sociedade em geral.

Assim, este trabalho visa apresentar os fatores envolvidos na concepção de um link de rádio, demonstrando como é feito o cálculo, discutindo sobre as ferramentas computacionais utilizadas no processo e debatendo as tecnologias utilizadas, no mundo, para construir uma rede de transmissão. Para ilustrar melhor como isso é feito, será demonstrado aqui, um estudo de caso prático, envolvendo os conceitos discutidos neste documento.

Palavras-chaves: Telecomunicações. Telefonia Móvel. Radioenlace. Sistemas Rádio Ponto a Ponto. Sistema de Transmissão Microondas

ABSTRACT

Today people need to have communication services that are mobile, safe and reliable. Almost everyone has a cell phone, and who has it can't live without it anymore without having to rearrange not only the professional life but also the personal one too. In this world that nobody can stop or wait to get an answer, where everything needs to be real-time, where time is money and people can't afford anymore the price of being isolated or without communication, it is inserted the mobile telecommunication.

To provide more and more online services it is necessary to have faster and faster communication, with an increasing transmission rate so people can make phone calls, send pictures, check e-mails, use a GPS navigator system, make video calls, and many other things including to surf in the internet and to chat with friends around the globe. The technology is providing smaller cell phones with so much high tech features that there are also some called smart phones, competing with laptops almost just because the use of the wireless satellite internet.

But as everything in the life, there is always a service behind the electronics. A cell phone is the smallest part of the communication chain. And is useless if an antenna is not present or doesn't cover the area where we need to use the cell phone. It is exactly the technology implemented behind a simple cell phone, which will be discussed throughout this document.

So these radio links should be well designed and sized so that there are no flaws in the system. Today, failures in the transmission network of telephone companies means big losses for the company and its users, as well as for society in general.

Thus, this paper aims to present the factors involved in the design of a radio link to demonstrate how the calculation is made. Explain about the computational tools used in the process and discuss the technologies used in the world, today, to build a transmission network. To better illustrate how this is done, it will be shown a practical case study involving the related studied concepts.

Keywords: Telecommunications. Mobile Telephony. Radio Links. Point to Point Radio Systems. Microwave Transmission Systems.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 MOTIVAÇÃO	14
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivos Gerais	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 SISTEMAS RÁDIO PONTO A PONTO	17
1.4.1 Rádio Ponto a Ponto Digital	18
2 CONFIGURAÇÃO SISTÊMICA	20
2.1 HIERARQUIA DIGITAL PDH	20
2.1.1 Limitações dos Sistemas PDH	22
2.2 HIERARQUIA DIGITAL SDH	23
2.2.1 Benefícios de uma rede SDH	25
2.3 APLICAÇÃO DO RÁDIO NAS REDES PDH E SDH	26
2.3.1 Interconexão Entre Sistemas Rádio e Fibra Óptica	26
2.4 TIPOS DE RÁDIO PONTO A PONTO	27
2.4.1 Topologia de rede	27
3 SISTEMA AÉREO	30
3.1 ANTENA	30
3.1.1 Ganho da Antena	30
3.1.2 Polarização	31
3.1.3 Ângulo de Meia Potência	32
3.1.4 Relação Frente-Costa	33
3.2 TORRES	34
3.2.1 Tipos de Torre	35
3.2.1.1 Autoportante	35
3.2.1.2 Estaiada	36
3.2.1.3 Postes	36
3.2.2 Acessórios	37
4. PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	38
4.1 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	38
4.1.1 Ondas Radioelétricas	39
4.2 MEIO DE TRANSMISSÃO	42
4.3 ZONA/ELIPSÓIDE DE FRESNEL	43
4.4 DESVANECIMENTO OU <i>FADING</i>	44
4.5 PERDA NO ESPAÇO LIVRE	45
4.6 REFRAÇÃO	45
4.6.1 Fator K	46
4.7 DIFRAÇÃO	48
4.8 REFLEXÃO	49
4.9 ATENUAÇÃO DEVIDO A CHUVAS	51
4.10 ATENUAÇÃO CAUSADA PELA ATMOSFERA	52
5. DIMENSIONAMENTO DE RADIOENLACES	53
5.1 DEFINIÇÃO DAS ESTAÇÕES	53
5.2 SELEÇÃO DA FAIXA DE FREQUÊNCIAS	53
5.3 TIPOS DE ANTENA	54
5.3.1 Dimensionamento da Altura das Antenas	55
5.4 ELABORAÇÃO DO PLANO DE FREQUÊNCIAS	57
5.5 CÁLCULO DE DESEMPENHO E DISPONIBILIDADE	58
5.5.1 Atenuação no Espaço Livre - <i>Ae</i>	58
5.5.2 Atenuação Total Líquida - <i>at</i>	58
5.5.3 Nível de Recepção Nominal - <i>PRN</i>	59
5.5.4 Margem Líquida do Enlace - <i>FFM</i>	59
5.5.5 Cálculo de Indisponibilidade	60
6. ESTUDO DE CASO	62

6.1 DEFINIÇÃO DAS ESTAÇÕES	62
6.2 PARÂMETROS DO ENLACE	64
6.2.1 Distância e azimutes entre estações	64
6.2.2 Verificação da visada	65
6.2.3 Frequência a ser utilizada no enlace	68
6.2.4 Definição da altura das antenas	69
6.2.5 Definição da capacidade do enlace e dos equipamentos a serem utilizados	69
6.3 CÁLCULO DE DESEMPENHO E DISPONIBILIDADE	71
6.3.1 Atenuação no espaço livre – A_e	71
6.3.2 Atenuação total líquida	71
6.3.3 Nível de recepção	71
6.3.4 Margem líquida do enlace - FFM	72
6.3.5 Cálculo de indisponibilidade	72
6.3.6 Conclusões	74
6.4 PLANILHA PARA CÁLCULO DE DESEMPENHO DE RADIOENLACES	75
6.5 RESULTADOS	78
6.6 DEFINIÇÃO DO PLANO DE FREQUÊNCIAS	80
7. CONCLUSÕES.....	84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elementos para comunicação básica em um radioenlace	17
Figura 2 – Sistema de transmissão rádio ponto a ponto	17
Figura 3 – Hierarquia PDH.....	22
Figura 4 – Rede de transmissão com backbone em anel	28
Figura 5 – Rede de transmissão de longa distância	28
Figura 6 – Esboço de diagrama de irradiação de um dipolo de meia onda	31
Figura 7 – Tipos de polarização utilizados em radioenlaces	32
Figura 8 – Especificação de antena Andrew, modelo VHLPX1-13-1GR.....	34
Figura 9 – Estruturas de torre autoportante tripolar	35
Figura 10 – Estrutura de torre estaiada.....	36
Figura 11– Estrutura de poste	37
Figura 12 – Onda eletromagnética.....	39
Figura 13 – Espectro de Frequências.....	40
Figura 14 – Efeito da reflexão em um radioenlace.....	42
Figura 15 – Exemplo de zona de Fresnel	43
Figura 16 – Raio normal da Terra	46
Figura 17 – Raio equivalente da Terra	46
Figura 18 – Valor de K excedido para 99,9% do tempo no pior mês do ano.....	48
Figura 19 – Difração devido à superfície da Terra.....	49
Figura 20 – Reflexão em superfície irregular.....	50
Figura 21 – Reflexão em superfície plana	50
Figura 22 – Planilha para cálculo de distâncias geográficas	54
Figura 23 – Planilha para cálculo da altura das antenas	57
Figura 24 - Localização do site Caxias do Sul e site Farroupilha	63
Figura 25 - Cálculo da distância e azimute entre o site Caxias do Sul e Farroupilha	64
Figura 26 – Levantamento do trajeto entre a estação Caxias do Sul e Farroupilha através das cartas do exército	65
Figura 27 – Levantamento do perfil topográfico entre as estações Caxias do Sul e Farroupilha através do software SIGAnatel	66
Figura 28 – Levantamento do perfil topográfico entre as estações Caxias do Sul e Farroupilha através do software Aircom.....	67
Figura 29 – Levantamento do perfil topográfico entre as estações Caxias do Sul e Farroupilha através do software Radio Mobile	68
Figura 30 - Forma de um esferóide oblato	75
Figura 31 – Planilha de cálculo para dimensionamento de radioenlaces	76
Figura 32 – Planilha de cálculo para dimensionamento de radioenlaces	76
Figura 33 – Detalhamento de cálculo de radioenlace entre Caxias do Sul e Farroupilha.....	79
Figura 34 – Informações sobre frequências já utilizadas na região da estação Caxias do Sul.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Hierarquias PDH adotadas no mundo.....	21
Tabela 2 – Hierarquias PDH e SDH adotadas no mundo.....	24
Tabela 3 – Tipos de rádio por capacidade de transmissão	29
Tabela 4 – Capacidade de Transmissão por Faixa de Frequência.....	29
Tabela 5 – Faixas de frequência das ondas de rádio.....	40
Tabela 6 – Frequências disponíveis no Brasil para rádios ponto a ponto segundo a Anatel....	41
Tabela 7 – Parâmetros de chuva (recomendações ITU-R 838).....	52
Tabela 8 – Atenuação devido às chuvas (recomendações ITU-R 838).....	52
Tabela 9 – Distâncias atendidas por faixa de frequência.....	54
Tabela 10 – Comparação entre dados obtidos através de planilha e software	78
Tabela 11 – Canalização de frequências na faixa de 15 GHz	81

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- DELET: Departamento de Engenharia Elétrica da UFRGS
- EHF: Extremely High Frequency
- ELF: Extra Low Frequency
- FOTS: Fiber-Optic Transmission System
- HF: High Frequency
- ITU – International Telecommunication Union
- ITU-T: ITU's Telecommunication Standardization Sector
- LF: Low Frequency
- MF: Medium Frequency
- MUX: Multiplexador
- PCM: Pulse-Code Modulation
- PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy
- RF: Rádio Frequência
- SDH: Synchronous Digital Hierarchy
- SHF: Super High Frequency
- SIGAnatel: Sistema de Informações Geográficas da Anatel
- SONET: Synchronous Optical Network
- STEL: Sistema de Serviços de Telecomunicações da Anatel
- STM-1: Synchronous Transport Module - Level 1
- UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UHF: Ultra High Frequency
- UMTS: Universal Mobile Telecommunication System
- VHF: Very High Frequency

VLF: Very Low Frequency

WCDMA: Wide-Band Code-Division Multiple Access

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

A notável expansão das telecomunicações em todo mundo nos últimos anos, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil, traz consigo a necessidade do aumento da capacidade de transmissão de dados pelas empresas da área.

Novas tecnologias surgem a cada instante na área da telefonia celular e com a recente disponibilização da terceira geração desta tecnologia no Brasil – WCDMA/UMTS, as empresas se deparam com o desafio de aumentar significativamente a capacidade de transmissão de dados para poderem suprir a demanda dos serviços de comunicação.

Hoje em dia, os serviços de voz e dados em banda larga no celular, são disponibilizados amplamente aos usuários e, desta forma, obtêm-se uma ferramenta de comunicação móvel muito poderosa e eficiente. Para que esses recursos funcionem corretamente e de maneira satisfatória, se faz necessário um planejamento dos sistemas de radioenlace bem como dos laços de fibra ótica.

Atualmente, apesar de já existirem tecnologias mais eficientes para a transmissão de dados e com taxas de transmissão mais elevadas, o radioenlace ponto a ponto ainda é largamente utilizado no Brasil e em vários outros países, conjuntamente com as tecnologias mais recentes, pois tem aplicações específicas, onde praticamente só esta tecnologia se torna técnica e economicamente viável.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos numerados e distintos, incluindo este introdutório, o qual é composto pela motivação, estrutura do trabalho, objetivos, sistema rádio ponto a ponto e aplicação dos sistemas rádio ponto a ponto.

O segundo capítulo, denominado Configuração Sistêmica tem como objetivo descrever o que é um projeto sistêmico e também as principais tecnologias envolvidas.

O capítulo três, intitulado Sistema Aéreo descreve os equipamentos e os parâmetros envolvidos na parte estrutural do sistema de transmissão.

O quarto capítulo, denominado Propagação das Ondas Eletromagnéticas, descreve como se comportam as ondas eletromagnéticas e cita as faixas de frequência utilizadas no Brasil.

Já no capítulo cinco, denominado Dimensionamento de Radioenlaces, são descritas metodologias e conceitos sobre o dimensionamento de radioenlaces.

No sexto capítulo, cujo título é Estudo de Caso, é desenvolvido um estudo de caso entre duas estações situadas no Rio Grande do Sul.

Finalmente no capítulo sete, denominado Conclusões, são discutidos os resultados e conclusões.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos foram divididos em duas partes, conforme segue abaixo:

1.3.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo reunir informações suficientes para a elaboração de um projeto de radioenlace ponto a ponto, na faixa de microondas, demonstrando a teoria envolvida, discutindo suas características, apresentando as tecnologias e os recursos disponíveis para a execução dos mesmos.

Pretende-se ainda apresentar um breve panorama deste tipo de projeto dentro da realidade brasileira e no mundo.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivo principal, destaca-se a criação de um documento que contenha as informações necessárias para a elaboração de um projeto sistêmico de radioenlace ponto a ponto, mostrando uma visão prática sempre que possível, mas abrangendo toda a teoria pertinente para o perfeito entendimento do assunto.

Pretende-se ainda fazer um estudo de caso para elucidar as técnicas e conceitos envolvidos.

1.4 SISTEMAS RÁDIO PONTO A PONTO

No Brasil e no mundo, sistemas de radioenlace ponto a ponto vêm sendo utilizados em larga escala em conjunto com sistemas de fibra ótica.

Em sistemas de rádio ponto a ponto a informação é transportada entre duas estações fixas distantes entre si até 50 km ou mais, dependendo das variáveis topográficas, da faixa de frequência e da capacidade utilizada pelo equipamento.

Resumidamente, um sistema de comunicação de radioenlace ponto a ponto consiste em duas estações fixas e um meio de transmissão entre elas, como mostrado na Figura 1.

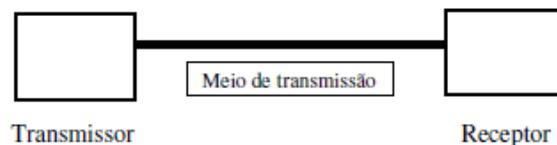


Figura 1 - Elementos para comunicação básica em um radioenlace

Fonte: FELICE, 2005

Para que haja uma efetiva comunicação entre as duas estações, é preciso que se verifique “visada” entre elas, ou seja, que não exista nenhum obstáculo entre uma antena e outra, como mostrado na Figura 2, fazendo assim com que o sinal transmitido tenha uma boa qualidade e possa ser transmitido com o menor nível de interferências possível.

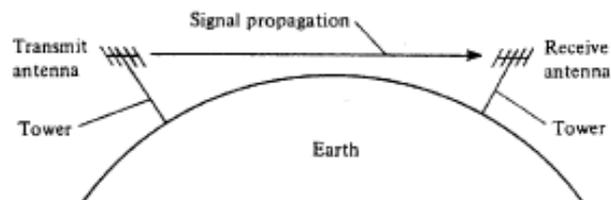


Figura 2 – Sistema de transmissão rádio ponto a ponto

Fonte: LEON, Couch, II, 2007

1.4.1 Rádio Ponto a Ponto Digital

Desde a década de 70 as companhias de telecomunicações mundiais sentiram a necessidade de suprir a crescente demanda de serviços e partiram para a digitalização das suas redes. A criação de centrais telefônicas digitais ocasionou o surgimento de inúmeros equipamentos de transmissão, como por exemplo, os multiplexadores digitais, a fibra óptica, roteadores automáticos, os rádios digitais e etc.

A principal característica do rádio digital é a transmissão de dados ou sinais modulantes digitais, como por exemplo, os feixes digitais padrão em telecomunicações, 2 Mbit/s, 34 Mbit/s, 140 Mbit/s e 155 Mbit/s.

Em um enlace de rádio digital, hoje em dia, as informações são transmitidas através das hierarquias PDH ou SDH.

1.5 APLICAÇÕES DOS SISTEMAS RÁDIO PONTO A PONTO

Sistemas rádio ponto a ponto são atualmente muito utilizados e implantados em quantidade cada vez maior, muitas vezes em conjunto com sistemas FOTS - Fiber-Optic Transmission System, sendo um dos mais empregados meios de transmissão.

As conexões através de links de rádio fornecem uma alternativa muito flexível para diferentes condições topográficas e ambientais. Em certos centros urbanos, algumas vezes, o radioenlace pode ser a única alternativa para comunicação entre duas estações.

Apesar de ter capacidade de transmissão inferior à fibra óptica, o sistema de rádio ponto a ponto tem aplicações específicas e é largamente utilizado. Abaixo, algumas das possíveis aplicações, segundo (NEC, 2009):

- Rede de transporte das operadoras regionais e de longa distância;
- Rede de transporte das operadoras de sistemas celulares fixos e móveis;
- Rede privada das operadoras de sistemas de energia e outras;
- Redes corporativas;
- Rede de distribuição de sinais de TV;
- Links temporários;
- Provedores de serviços de internet.

2 CONFIGURAÇÃO SISTÊMICA

Para que o projetista de sistemas possa escolher a melhor solução para um determinado projeto, em uma rede de transmissão, é fundamental que este conheça os recursos disponíveis no que se refere aos sistemas de rádio, ou seja, equipamentos, sistema aéreo e sistemas auxiliares.

Em um projeto de radioenlace é preciso especificar parâmetros como a capacidade de transmissão, a frequência de operação e os tipos de proteção que o mesmo utilizará.

Com base nas necessidades do cliente e nas normas vigentes, o projetista deve encontrar a solução técnico/econômica mais adequada para cada caso projetado.

Um sistema bem projetado é aquele em que a capacidade de prover serviços ao cliente não se restringe apenas às necessidades atuais, mas prevê certo crescimento das mesmas, tornando assim o projeto e os equipamentos utilizados economicamente viáveis e com uma maior vida útil. Este fato faz com que a rede tenha seu potencial e sua vida útil estendidos.

2.1 HIERARQUIA DIGITAL PDH

A hierarquia digital chamada PDH - *Plesiochronous Digital Hierarchy* foi idealizada, segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008), para realizar a interconexão de centrais de comutação digitais (aplicação ponto a ponto), mas devido a limitações tecnológicas e a necessidade do mercado de aumentar a capacidade de transporte, tornou-se cara e limitada.

A palavra *PLESIOCHRONOUS* vem do grego *Plésios*, próximo, quase, e *Kronos*, tempo. Numa tradução livre, seria *quase síncrono*.

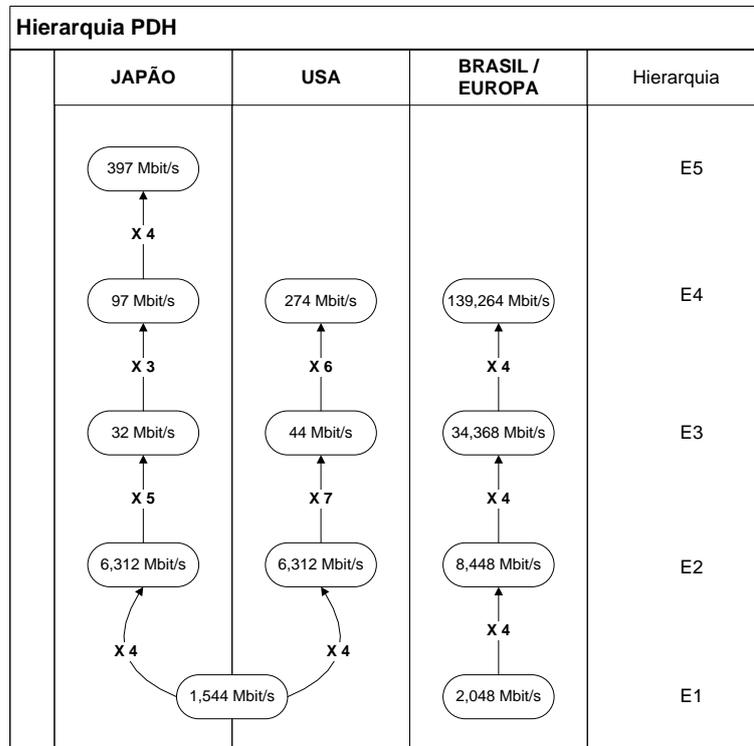
Dois ou mais sinais são considerados plesiochronous quando apresentam a mesma taxa nominal, mas tem relógios diferentes.

Sua aplicação é mais voltada para grandes centros urbanos, onde estão os chamados circuitos terminais e há dificuldade de se aplicar outras tecnologias. Circuitos terminais podem ser entendidos como as “pontas” da rede de transmissão.

Como característica funcional, possui poucos recursos para gerência, e também torna a rede extremamente hierárquica. Por este motivo, há a divisão em níveis de hierarquias.

Um grande problema desta tecnologia é que não existe um padrão mundial, ou seja, há uma dificuldade na interconexão de sistemas, pois só é possível a interconexão ao nível de voz, na taxa de 64 kbits/s. Na Tabela 1 pode-se ter uma visão das hierarquias PDH ao redor do mundo.

Tabela 1 – Hierarquias PDH adotadas no mundo



Fonte: Miyoshi, 2008

Nesta hierarquia, para que a comunicação seja estabelecida de forma correta, é essencial que todos os bits de entrada estejam sincronizados, pois cada nível de hierarquia (E1, E2, E3, E4 e E5) tem uma taxa de transmissão de dados diferente, conforme ilustrado na Figura 3. Para que isto ocorra, são adicionados bits sem informação, chamados de “bits vazios” ou “bits de justificação”. Estes bits são identificados, mais tarde, na demultiplexação e descartados, mantendo-se assim apenas o sinal original.

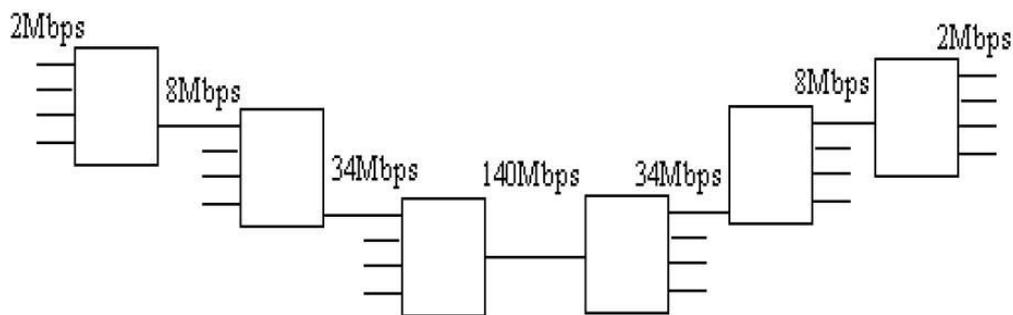


Diagrama de um sistema PDH

Figura 3 – Hierarquia PDH

Fonte: SONET / SDH's Blog

2.1.1 Limitações dos Sistemas PDH

Apesar de estar espalhada por todo o mundo, a Hierarquia Plesiócrona tem suas limitações. Entre elas, destacam-se as seguintes:

- **Alto nível hierárquico:** para poder obter um enlace E1 de uma linha de transmissão PDH a 140 Mbps, por exemplo, é preciso demultiplexar o sinal através de cada hierarquia até chegar a um E1. Ou seja, é um processo complexo e caro.

- **Recursos de gerência pouco facilitados:** por ser difícil a identificação dos enlaces E1 nos níveis hierárquicos maiores, difícil é também conhecer o status do sistema como um todo.

Como se sabe, o controle das redes e a garantia de que elas irão funcionar durante o ano todo é uma exigência das empresas. Na hierarquia PDH, para fazer um sistema de gerência ocupa-se muito espaço dentro dos quadros e, além disso, este sistema não tem quadros suficientes para assegurar uma gerência eficiente.

- **Padronização parcial:** Como existem três tipos de hierarquias PDH no mundo, não há uma padronização total entre os sistemas, o que faz com que seja necessário um esforço maior para que os sistemas possam ser interconectados.

2.2 HIERARQUIA DIGITAL SDH

No final da década de 80, havia a necessidade de maiores taxas de transmissão e também a ITU-T sugeriu criar um padrão mundial para sistemas de transmissão síncrona, o qual proporcionaria uma rede mais flexível e econômica.

As principais características da hierarquia SDH – *Synchronous Digital Hierarchy*, segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008), são:

- Padronização total;
- Fácil acesso aos tributários de ordem inferior;
- Grande capacidade alocada para gerência de rede.

Segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008), um dos principais objetivos da criação de uma rede digital síncrona foi criar uma interface padrão com objetivo de compatibilizar os vários fabricantes. Desse fato surgiu, nos Estados Unidos, a rede óptica síncrona “SONET” que evoluiu para um padrão internacional que compatibiliza as hierarquias existentes, americana, japonesa e européia. Esta hierarquia atinge uma taxa bruta de transmissão de 155.520 Mbit/s, chamada de módulo de transporte síncrono nível 1, do inglês “synchronous transport module level 1” – STM-1.

A Tabela 2 mostra as taxas de transmissão das hierarquias PDH e SDH. A estrutura do quadro do STM1 tem 2.430 bytes, que duram 125 microssegundos (exatamente o tempo que dura um canal PCM de 64 kbps). Estes bytes estão organizados em 270 colunas por 9 linhas.

Tabela 2 – Hierarquias PDH e SDH adotadas no mundo

Hierarquia Digital	Taxa de Bits		Capacidade de Multiplexação de Canais
	Notação Usual	Valor Exato	
E1	2 Mbps	2 048 kbit/s	30 canais de 64 kbit/s (E0)
E2	8 Mbps	8 448 kbit/s	4 E1
E3	34 Mbps	34 368 kbit/s	16 E1
E4	140 Mbps	139 264 Kbit/s	64 E1 ou 4E3
STM1	155 Mbps	155 520 kbit/s	63 E1 ou 3 E3
STM-4	620 Mbps	622,08 Mbps	4 STM-1
STM-16	2.480 Mbps	2.488,32 Mbps	16 STM-1 ou 4 STM-4
STM-64	9.920 Mbps	9953,28 Mbps	64 STM-1, 16 SMT-4 ou 4 SMT-16

Fonte: TELECO

Esta hierarquia é um tanto complexa, portanto, não será feito um estudo aprofundado nesta área, pois não é o foco deste trabalho. Este documento tem como objetivo citar as tecnologias disponíveis e desenvolver um procedimento para projetos de radioenlace.

2.2.1 Benefícios de uma rede SDH

Uma rede baseada na hierarquia SDH possui inúmeras vantagens, dentre elas, segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008), destacam-se:

- **Simplificação:** um único multiplexador síncrono substitui uma cadeia de multiplexadores plesiócronicos. Uma estação de SDH é mais simples, barata, consome menos energia e sua manutenção é menos onerosa.
- **Sobrevivência:** todos os elementos de uma rede SDH estão constantemente supervisionando o funcionamento da transmissão. Softwares vigiam a integridade dos dados coletados. Em caso de problemas ou degradações na transmissão, o sistema de gerência pode optar por uma rota de transmissão alternativa.
- **Controle por Software:** os canais disponíveis dentro da estrutura de quadro do SDH permitem que toda a rede seja controlada por software. Sistemas de gerência de rede podem detectar falhas, avaliar o desempenho, modificar configurações, dispor recursos, controlar a segurança entre outros. Isso faz com que não seja sempre necessário o envio de uma equipe até o site para fazer as devidas alterações ou manutenção no mesmo.
- **Velocidades maiores sob encomenda:** Qualquer assinante conectado à rede síncrona pode facilmente comprar qualquer serviço que esteja disponível na rede. Como exemplo pode-se citar a videoconferência discada onde a conexão é mais veloz e exige uma largura de banda maior.

- **Padronização:** Como os equipamentos da rede SDH estão razoavelmente padronizados, é possível interconectar redes SDH de fabricantes diferentes. Também é possível interconectar duas ou mais redes de gerência.

2.3 APLICAÇÃO DO RÁDIO NAS REDES PDH E SDH

Sistemas de radioenlace ponto a ponto são muito utilizados tanto em redes PDH como em redes SDH em conjunto com outros componentes da rede, como multiplexadores e FOTS.

Na maioria dos casos, sistemas PDH e SDH coexistem dentro de uma mesma rede de transporte.

Em redes existentes, geralmente, a introdução do SDH ocorre gradativamente e é utilizada para formar o “backbone” da rede numa topologia em anel. O PDH é utilizado para os trechos terminais ou de acesso, pois têm capacidade de transmissão inferior ao SDH.

2.3.1 Interconexão Entre Sistemas Rádio e Fibra Óptica

Comumente encontram-se redes SDH interconectadas com anéis de fibra óptica, para formar o backbone e aumentar a capacidade de transmissão do mesmo, aumentando também a confiabilidade do sistema como um todo.

Sistemas de fibra óptica são implantados em uma topologia de anel para prevenir possíveis interrupções por falhas mecânicas ou mesmo falhas no sistema.

O Brasil, quando comparado com países de primeiro mundo, ainda está iniciando a estruturação de suas redes de fibra óptica, mas já se encontra tais topologias em várias aplicações.

2.4 TIPOS DE RÁDIO PONTO A PONTO

A forma mais comum de classificar o rádio é através da sua hierarquia (PDH e SDH).

Os rádios PDH possuem interfaces PDH, sendo a mais comum a interface E1 (2 Mbps). Estes rádios possuem capacidade de $n \times E1$, ou seja, tem função de multiplexação, o que faz com que seja dispensável a utilização de Mux PDH (multiplexadores) de ordens superiores.

Rádios SDH, por sua vez, possuem interfaces SDH, sendo a mais usual a STM-1. As demais hierarquias fornecidas pelo rádio são STM-0 e STM-4.

Na maioria das vezes utiliza-se em conjunto com Mux SDH para poder prover interfaces E1:

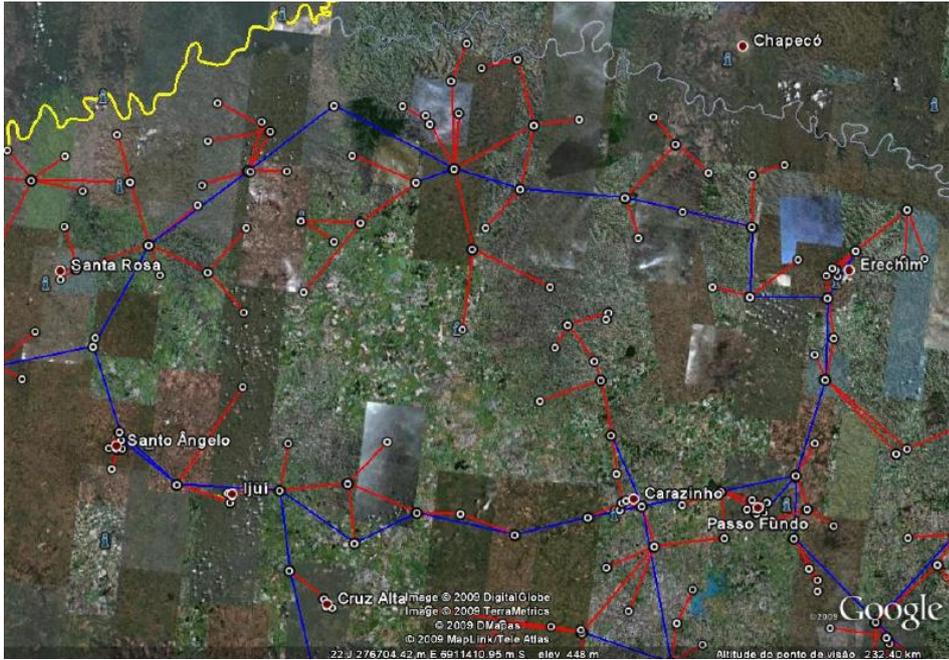
- Rádios STM-1: 63 x E1 por canal de RF;
- Rádios STM-0: 21 x E1 por canal de RF.

2.4.1 Topologia de rede

Redes de transmissão, constituídas integralmente ou em partes por radioenlaces, tem uma grande diversidade no que se refere à sua dimensão, capacidade de transmissão, área de atuação, entre outros aspectos.

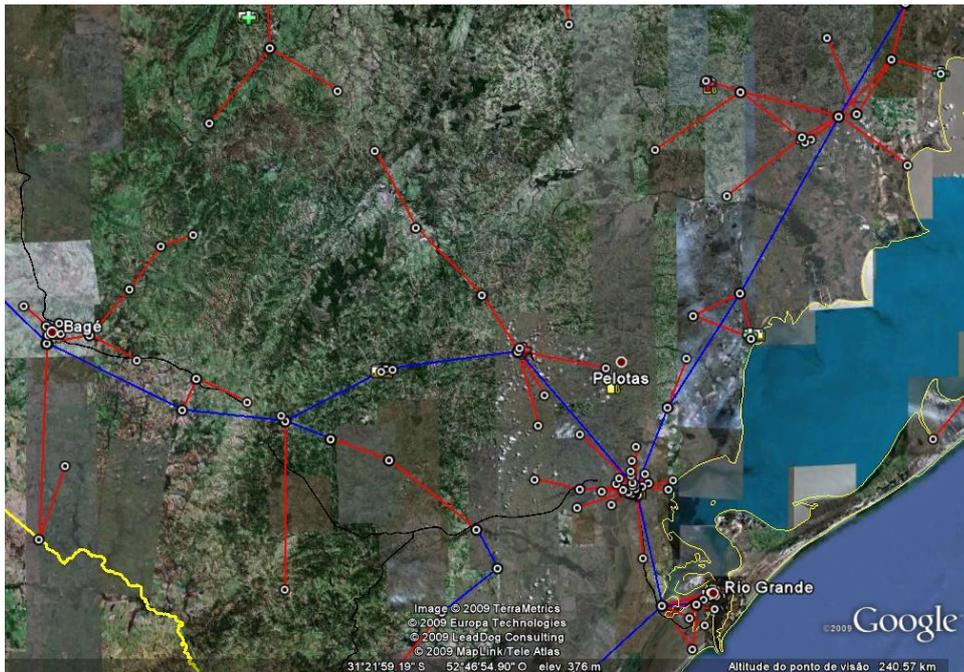
Usualmente os radioenlaces são classificados de acordo com sua localização dentro da rede à qual pertence.

As Figuras 4 e 5 mostram as topologias mais comuns de redes.



- * Backbone (Rede SDH): traçado azul
- * Entroncamento Secundário / Acesso (Rede PDH): traçado vermelho

Figura 4 – Rede de transmissão com backbone em anel



- * Backbone (Rede SDH): traçado azul
- * Entroncamento Secundário / Acesso (Rede PDH): traçado vermelho

Figura 5 – Rede de transmissão de longa distância

Normalmente, os rádios utilizados são os seguintes:

- Backbone: radioenlace de alta capacidade;
- Entroncamento secundário: radioenlace de média capacidade;
- Acesso: radioenlace de baixa capacidade.

Na tabela 3 pode-se ter uma visão dos tipos de rádio e suas aplicações.

Tabela 3 – Tipos de rádio por capacidade de transmissão

CAPACIDADE	TAXA DE TRANSMISSÃO	APLICAÇÃO TÍPICA
Baixa	Até 4E1	Acesso
Média	8E1 a 32E1	Entroncamento Secundário
Alta	140/155 Mbps (64E1 e 63E1)	Backbone / Entroncamento Secundário

Fonte: Miyoshi, 2008

Na Tabela 4 tem-se uma visão geral da capacidade de transmissão em função da faixa de frequência utilizada.

Tabela 4 – Capacidade de Transmissão por Faixa de Frequência

Capacidade Permitida	400 MHz	1,5 GHz	4 GHz	5 GHz	6 GHz	6,7 GHz	7,5 GHz	8 GHz	8,5 GHz	11 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	38 GHz
1E1	O	O	X	X	X	X	O	X	X	X	O	O	O	O
2E1	O	O	X	X	X	X	O	X	X	X	O	O	O	O
4E1	O	O	X	X	X	X	O	X	X	X	O	O	O	O
8E1	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X	O	O	O	O
16E1	X	X	X	X	X	O	O	X	O	X	X	O	O	O
STM-0 (21E1)	X	X	X	X	X	O	O	X	O	X	X	O	O	O
32E1	X	X	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X
STM-1 / 140 Mb	X	X	O	O	O	X	O	O	X	O	X	O	O	O

*O: PERMITIDA; X: NÃO PERMITIDA

Fonte: Miyoshi, 2008

3 SISTEMA AÉREO

O sistema aéreo é constituído por todos os equipamentos necessários para a correta instalação das antenas de um radioenlace, ou seja, torre, antena, guia de onda, conectores, sistemas de pressurização e sistemas de energia e aterramento.

3.1 ANTENA

A característica básica da antena é a largura de banda, ou seja, o intervalo de frequências no qual a mesma opera de maneira satisfatória, mantendo todos os padrões exigidos pelas legislações pertinentes.

A seguir serão apresentadas as principais características de uma antena.

3.1.1 Ganho da Antena

Como característica principal, pode-se citar o Ganho da antena. Este parâmetro é medido em dBi, relativo a antenas isotrópicas.

O ganho de uma antena está diretamente relacionado com a sua diretividade.

A diretividade de uma antena é definida como a relação entre a energia irradiada da direção do máximo do diagrama de radiação dessa antena e o que seria irradiado por uma antena isotrópica ideal em uma direção qualquer, quando ambas irradiam a mesma potência, como pode ser visto na Figura 6.

Para antenas que não possuem perdas internas, o valor do ganho é igual ao valor da diretividade. Já em antenas que possuem perdas internas, estas devem ser descontadas do valor da diretividade para obter o valor do ganho.

Segundo (ALCATEL, 2004), isotrópica é uma antena hipotética baseada na transmissão para todas as direções.

O ganho de uma antena sem perdas é dado pela seguinte equação:

$$dBi = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_i} \quad [1]$$

Onde:

- P_o - potência de saída
- P_i - potência de entrada

Na Figura 6 pode-se observar o diagrama de irradiação de uma antena isotrópica e de um dipolo de meia onda.

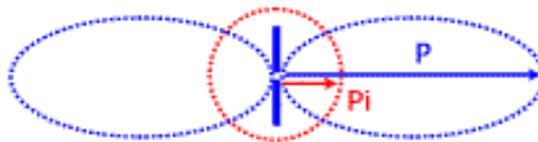


Figura 6 – Esboço de diagrama de irradiação de um dipolo de meia onda

Fonte: MSPC

3.1.2 Polarização

A polarização de uma onda eletromagnética está relacionada com a direção do campo elétrico. Esta polarização é definida pelas características mecânicas da antena e da orientação do alimentador da antena.

Antenas parabólicas (cheias e vazadas) utilizam polarização linear (horizontal ou vertical), selecionável através da rotação do alimentador da antena, como se observa na Figura 7.

Antenas com dupla polarização são aquelas que podem trabalhar simultaneamente com ambas as polarizações. Para tanto, estas antenas possuem dois alimentadores, formando um ângulo de 90 graus entre si.

Para que haja uma maior eficiência na comunicação entre as antenas de um determinado enlace, ambas as antenas devem ter a mesma polarização.



Figura 7 – Tipos de polarização utilizados em radioenlaces

Fonte: MSPC

3.1.3 Ângulo de Meia Potência

O ângulo de meia potência é o ângulo exato onde o sinal transmitido tem uma queda de 3 dB com relação ao ângulo de irradiação máxima (centro do lóbulo principal).

Assim, quanto menor for esse ângulo, mais diretiva será essa antena, sendo mais imune a interferências, além de causar menos interferências em outros enlaces.

3.1.4 Relação Frente-Costa

Apesar de indesejável, as antenas irradiam energia na direção oposta à de interesse.

A relação frente-costa é definida como o nível relativo irradiado na direção oposta, ou seja, 180 graus com relação à direção de irradiação máxima.

3.1.5 Características Mecânicas

Além das características elétricas descritas acima, é preciso considerar também as características mecânicas das antenas, tais como:

- Área de exposição ao vento
- Dimensões físicas
- Peso

Parâmetros como área de exposição ao vento e peso são considerados no momento de dimensionar a estrutura da torre a ser utilizada na implantação de um radioenlace.

Na Figura 8 pode-se ter uma noção da estrutura de uma antena.

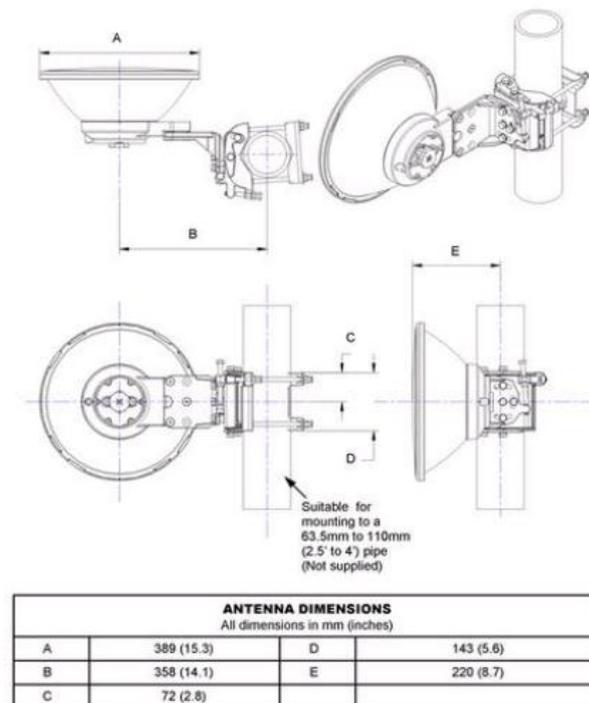


Figura 8 – Especificação de antena Andrew, modelo VHLPX1-13-1GR

Fonte: ANDREW

3.2 TORRES

As torres são estruturas essenciais para o correto funcionamento de um radioenlace.

Existem vários tipos de torres com características específicas.

O tamanho das torres, seu método de construção e a localização precisa da sua instalação dependem das análises dos perfis dos enlaces.

O correto dimensionamento das torres depende de um estudo de carga, considerando as antenas e os equipamentos que nela serão instalados.

As principais características a se observar em um projeto de torre são:

- Carga suportada: Este parâmetro é calculado em função da área de exposição ao vento das antenas e também considerando o peso das mesmas.
- Ângulo de deflexão: É o ângulo máximo de movimentação no topo da torre.

3.2.1 Tipos de Torre

A seguir será descrito os principais e mais utilizados tipos de torre.

3.2.1.1 Autoportante

Torres autoportantes são estruturas projetadas para suportar uma grande quantidade de antenas com alturas que podem chegar até 120 metros.

Devido à sua estrutura ser mais robusta em comparação com as demais, seu custo acaba sendo maior, mas apresenta vantagens, como ocupar um espaço menor dentro do terreno por não usar estaios, possuir uma grande capacidade de carga, além de ser facilmente içada e tornar mais fácil a instalação de antenas e guias de onda.

Na Figura 9 pode-se ter uma noção destas estruturas.



Figura 9 – Estruturas de torre autoportante tripolar

Fonte: ANDREW - COMMSCOPE

3.2.1.2 Estaiada

As torres estaiadas são menos custosas que as torres autoportantes, mas, no entanto, apresentam a desvantagem de necessitar de um maior espaço devido à utilização de estaios. São mais utilizadas em estações com pequena quantidade de direções, pois sua capacidade de carga é reduzida em relação às autoportantes.

Na Figura 10 é possível observar um modelo de torre estaiada.



Figura 10 – Estrutura de torre estaiada

Fonte: CONTEL

3.2.1.3 Postes

Postes são utilizados nos casos em que a altura necessária não é muito grande (menor do que 40 m) e a quantidade de antenas também é reduzida.

Estas estruturas apresentam um ângulo de deflexão elevado se comparado com outras torres. Esse fato torna a instalação de rádios SDH um tanto delicada, pois estes equipamentos requerem muita precisão uma vez que transmitem dados a altas taxas.

Na Figura 11 pode-se ter uma visão geral de um poste.



Figura 11– Estrutura de poste

Fonte: CONTEL

3.2.2 Acessórios

Torres de comunicação necessitam de vários acessórios. Entre estes, pode-se citar:

- Pára-raios;
- Aterramento;
- Plataforma de trabalho;
- Escada com guarda-corpo;
- Balizamento.

4. PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Segundo (LEON W, Couch, II, 2007), as características de propagação das ondas eletromagnéticas são altamente dependentes da frequência. A velocidade da onda de rádio é dependente da temperatura, da densidade e dos níveis de ionização do ar.

Para um projeto de radioenlace adequado é preciso considerar todos os fatores citados acima bem como as características dos equipamentos utilizados, fazendo assim com que se obtenha um alto fator de segurança na prestação do serviço, ou seja, que o sistema esteja disponível o maior tempo possível. Por exemplo, um enlace com uma disponibilidade de 99,995% ficará indisponível durante 26,28 minutos ao longo de um ano.

4.1 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A antena de transmissão transforma as variações de tensão produzidas pelo equipamento transmissor, em ondas eletromagnéticas capazes de se propagar no espaço até atingirem a antena receptora, onde o processo é invertido.

As características dessas ondas eletromagnéticas são dadas pelos campos elétrico e magnético que se propagam na atmosfera. A representação das ondas eletromagnéticas se dá, normalmente por senóides, uma para cada campo, possuindo assim os parâmetros de amplitude, frequência, fase e comprimento de onda. A velocidade de propagação não depende da fonte geradora, estando relacionada apenas ao comprimento de onda (λ) e à frequência(f) pela seguinte equação:

$$v = \lambda.f \quad [2]$$

Quando se considera a propagação no vácuo, a velocidade de propagação é constante a 3×10^8 m/s (velocidade da luz). Num meio qualquer essa velocidade é menor (quanto mais denso o meio, menor é a velocidade).

O parâmetro “polarização” é definido de acordo com o campo elétrico. Assim, diz-se que a onda tem polarização horizontal quando o campo elétrico é paralelo à superfície da Terra e tem polarização vertical quando o campo elétrico é perpendicular a esta.

Na Figura 12 pode-se ter uma idéia da representação de uma onda eletromagnética.

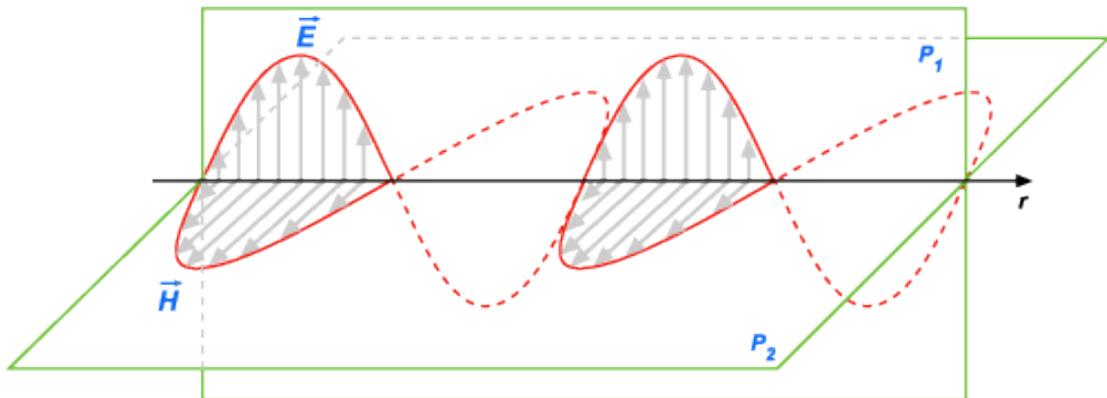


Figura 12 – Onda eletromagnética

Fonte: e-FÍSICA

4.1.1 Ondas Radioelétricas

Ondas radioelétricas são definidas arbitrariamente pela ITU - União Internacional de Telecomunicações, como ondas eletromagnéticas com frequências inferiores a 3.000 GHz segundo (SIEMENS, 1999).

O espectro eletromagnético correspondente às ondas de rádio é subdividido em faixas de frequência que recebem denominações específicas. A divisão mais comum é mostrada na Tabela 5. Na Figura 13 pode-se ter uma visão geral do espectro de frequências.

Tabela 5 – Faixas de frequência das ondas de rádio

Faixa de Frequência	Comprimento de Onda	Designação	
30 - 300 Hz	10.000 - 1.000 km		ELF
3 - 30 kHz	100 - 10 km	Ondas miriamétricas	VLF
30 - 300 kHz	10 - 1 km	Ondas quilométricas	LF
300 - 3.000 kHz	1.000 - 100 m	Ondas hectométricas	MF
3 - 30 MHz	100 - 10 m	Ondas decamétricas	HF
30 - 300 MHz	10 - 1 m	Ondas métricas	VHF
300 - 3.000 MHz	100 - 10 cm	Ondas decimétricas	UHF
3 - 30 GHz	10 - 1 cm	Ondas centimétricas	SHF
30 - 300 GHz	10 - 1 mm	Ondas milimétricas	EHF
300 - 3.000 GHz	1 - 0,1 mm	Ondas sub-milimétricas	

Fonte: DUUREN, 1996

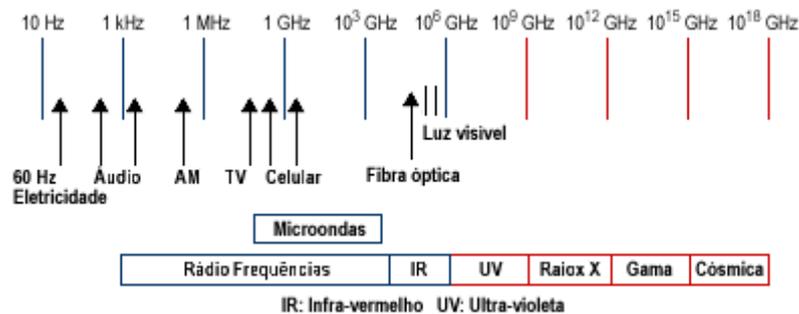


Figura 13 – Espectro de Frequências

Fonte: TELECO

Dentro do espectro mostrado na Tabela 5, no Brasil, usa-se apenas uma pequena parte do mesmo para implantação dos enlaces de rádio digitais ponto a ponto. Na tabela 6 pode-se ter uma visão geral das frequências utilizadas para esta aplicação:

Tabela 6 – Frequências disponíveis no Brasil para rádios ponto a ponto segundo a Anatel

Freq.(GHz)	Faixa (MHz)	Taxa (Mbit/s)	Regulamentação	
8	7.725 – 7.925	140 e 155	Res. 310	19/09/2002
	8.025 – 8.275			
8,5	8.275 – 8.500	2 a 51	Res. 106	25/02/1999
11	10.700 – 11.700	140 e 155	Norma 16/94	06/05/1994
15	14.500 – 15.350	2 a 17	Res. 129	26/05/1999
18	17.700 – 18.140	8x2 a 155	Norma 15/96	22/10/1996
	19.260 – 19.700			
18	18.580 – 18.820	2 a 8	Norma 04/91	22/10/1991
	18.920 – 19.160			
23	21.200 – 21.550	2 a 155	Norma 17/94	18/08/1994
	22.400 – 22.750		Norma 27/94	16/12/1994
23	21.800 – 22.400	2 a 155	Norma 03/92	05/01/1993
	23.000 – 23.600			
25-31	25.350 – 28.350	34 a 155	Res. 342	16/07/2003
	29.100 – 29.250			
	31.000 – 31.300			
38	37.000 – 39.500	2 a 155	Res. 374	15/07/2004

Fonte: TELECO

4.2 MEIO DE TRANSMISSÃO

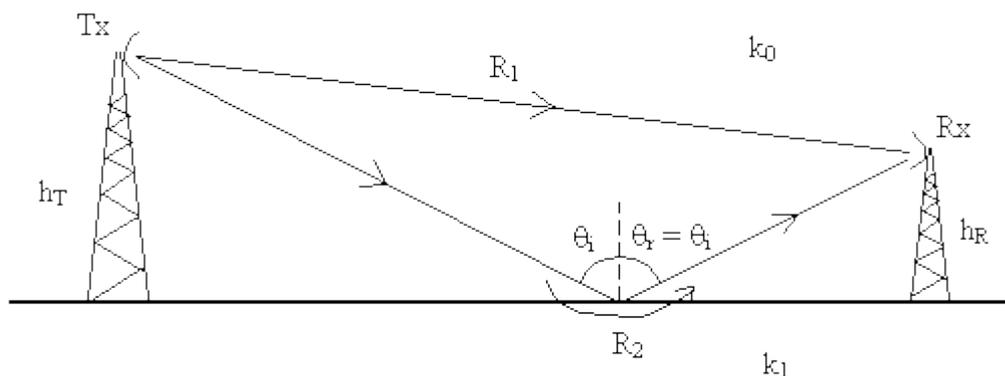
O meio de transmissão de radioenlaces é composto pelo conjunto superfície terrestre – atmosfera.

O comportamento do sinal transmitido depende, assim, das condições do relevo do terreno em que o sinal é propagado bem como das condições atmosféricas naquela região.

A influência da superfície terrestre é percebida de várias formas, entre elas: obstrução, difração e reflexão.

No espaço livre as ondas se propagam em “linha reta”, sem a influência de fenômenos como refração e reflexão.

Na Figura 14, percebem-se as conseqüências da reflexão das ondas transmitidas sobre a superfície terrestre. Tal fenômeno causa um atraso da onda transmitida e refletida no terreno em relação à onda transmitida diretamente, o que causa interferência no sinal.



*R1: Sinal transmitido diretamente

*R2: Sinal refletido na superfície terrestre

Figura 14 – Efeito da reflexão em um radioenlace

Fonte: WIRELESS BRASIL

4.3 ZONA/ELIPSÓIDE DE FRESNEL

O espaço entre duas estações de rádio pode ser subdividido em uma família de elipsóides, conhecidos como elipsóides de Fresnel.

Como regra prática, um enlace é considerado com visada direta, ou seja, com fenômeno de difração desprezível se não existir nenhum obstáculo dentro da primeira zona de Fresnel. Isto é aplicado devido ao fato de que todas as zonas de Fresnel somadas resultam em um valor que corresponde à metade do valor de apenas o primeiro elipsóide, segundo (GENERAL ELETRIC, 1962).

O raio de um elipsóide de Fresnel em um ponto qualquer entre o transmissor e o receptor é dado pela fórmula:

$$R_n = 550 \cdot \left[\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{(d_1 + d_2) \cdot f} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [3]$$

Sendo f a frequência (MHz), d_1 e d_2 as distâncias (km) entre o transmissor e receptor no ponto em que o raio do elipsóide de Fresnel é calculado e n é o número do elipsóide, tendo como seu valor a unidade.

Na Figura 15 pode-se ver claramente um exemplo de elipsóide de Fresnel.

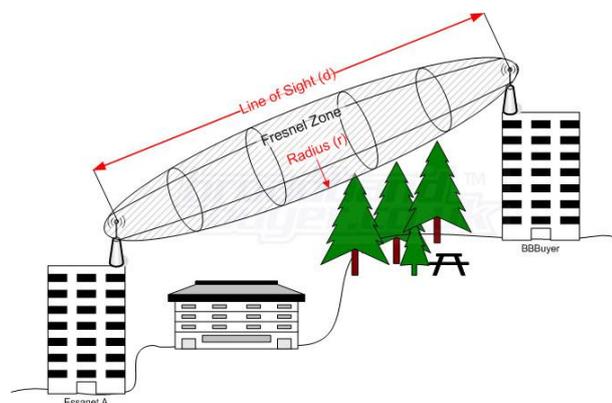


Figura 15 – Exemplo de zona de Fresnel

Fonte: BROADBAND BUYER

4.4 DESVANECIMENTO OU *FADING*

Segundo (FELICE, 2005), uma onda eletromagnética, ao atravessar o meio de propagação, sofre alterações de amplitude e de percurso. O desvanecimento representa alterações percebidas por atenuações, reforços e distorções no espectro do sinal.

O desvanecimento pode ser de dois tipos:

- Plano (ou não seletivo)
- Seletivo

O primeiro ocorre devido a efeitos de propagação como a estratificação da atmosfera (cintilação) e é menos severo que o desvanecimento seletivo, embora este possa ser corrigido pela aplicação de algum tipo de diversidade.

Ainda segundo (FELICE, 2005), a ocorrência do desvanecimento seletivo se dá devido à existência de um sinal interferente ou o chamado eco. O receptor não distingue entre o sinal desejado e o indesejado e, então, acontece adição dos sinais, que podem apresentar relações aleatórias de fase e amplitude. A somatória tem uma larga faixa de valores que variam com o tempo, principalmente as causadas por refrações atmosféricas. Este desvanecimento seletivo que é a condição mais severa em enlaces de rádio é conhecido por multipercurso e é caracterizado por desvanecimentos rápidos e lentos. Outros tipos de desvanecimentos são ocasionados por multipercurso em atmosfera estável e turbulenta, reflexão pela camada troposférica ou em superfícies, por refração anormal, por black-out e por obstrução.

Existem basicamente três modelos matemáticos para os fenômenos de desvanecimento seletivo:

- Modelo de dois raios
- Modelo de três raios
- Modelo polinomial

Na maioria dos radioenlaces (cerca de 90%), o modelo de dois raios é aplicável.

4.5 PERDA NO ESPAÇO LIVRE

Como as ondas se propagam em linha reta, no espaço livre, sem a ocorrência de refração ou mesmo reflexão, entende-se que a propagação de um sinal assume uma forma geométrica, na forma de esfera, uma vez que a energia do sinal espalha-se a partir do transmissor por esferas cada vez maiores. Quanto mais ele se afasta, maior é o raio da esfera, portanto é razoável tratar esse sinal como uma frente de ondas planas.

A perda no espaço livre pode ser calculada pela Lei de Friis:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad [4]$$

Onde:

- L_{bf} - perda no espaço livre (dB)
- d - distância (km)
- f - frequência (MHz)

4.6 REFRAÇÃO

A refração de uma onda ocorre quando ela passa de um meio para outro, exceto nos casos em que a direção do raio formar um ângulo reto com a superfície.

Este fenômeno é considerado no cálculo de radioenlaces, através de um parâmetro chamado de Fator K, descrito a seguir.

4.6.1 Fator K

A refração atmosférica que se observa nas ondas de rádio ocorre devido a variações no índice de refração do ar com a altura. Como consequência, esta muda de acordo com as condições climáticas devido a alterações de temperatura, pressão e umidade, por exemplo.

No meio onde as ondas radioelétricas se propagam, para o caso de radioenlaces, que é a chamada atmosfera padrão, o índice de refração decresce com a altitude, causando assim o encurvamento para baixo das ondas de rádio, como pode ser visto na Figura 16.

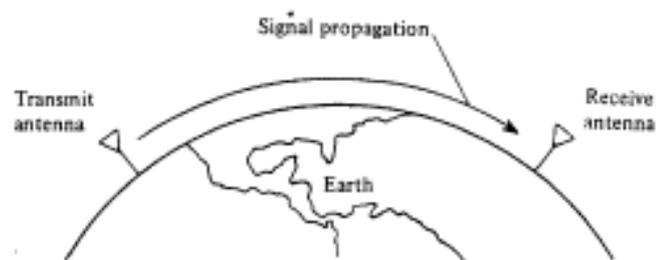


Figura 16 – Raio normal da Terra

Fonte: LEON, Couch, II, 2007

Para analisar a propagação das ondas de rádio na atmosfera, faz-se uso de um artifício que é considerar o feixe sem curvatura, ou seja, uma linha reta, e para compensar isso, aumenta-se o raio da Terra. Assim, têm-se um modelo equivalente como pode ser visto na Figura 17.

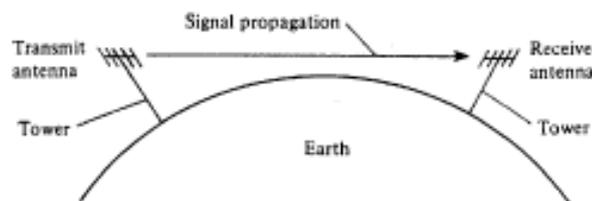


Figura 17 – Raio equivalente da Terra

Fonte: LEON, Couch, II, 2007.

Para que a análise possa ser feita de forma correta, usa-se um parâmetro chamado Fator K, que é relativo ao gradiente vertical (dn/dh) do índice de refração (n) e ao raio da Terra (a), segundo a seguinte equação:

$$K = \frac{1}{1+a\frac{dn}{dh}} \quad [5]$$

Onde:

- a – raio da Terra: $6,37 \times 10^6$
- $\frac{dn}{dh} = \frac{dM}{dh} \times 10^{-6} - \frac{1}{a}$
- $\frac{dM}{dh} = 0,118$ M.U./m (valor médio do gradiente de refratividade próximo da superfície terrestre).

Com isso, obtemos um $k_{médio} = 4/3$, definido para a atmosfera padrão.

Para que o projeto esteja adequado, o perfil da Terra deve ser corrigido através de dois fatores K, sendo um para atmosfera padrão ($k_{médio} = 4/3$) e outro que se chama $k_{mínimo}$, cujo valor é obtido através de um documento (ITU-R 530-09). Este valor de K varia em função do comprimento do enlace considerado para 99,9% do tempo no pior mês do ano.

Na teoria, o projetista deve aplicar os dois valores de K e adotar o que for mais crítico.

De maneira prática, adota-se o $k_{mínimo}$ para enlaces longos e o $k_{médio}$ para enlaces curtos.

Na Figura 18 ilustra-se a variação do $k_{mínimo}$.

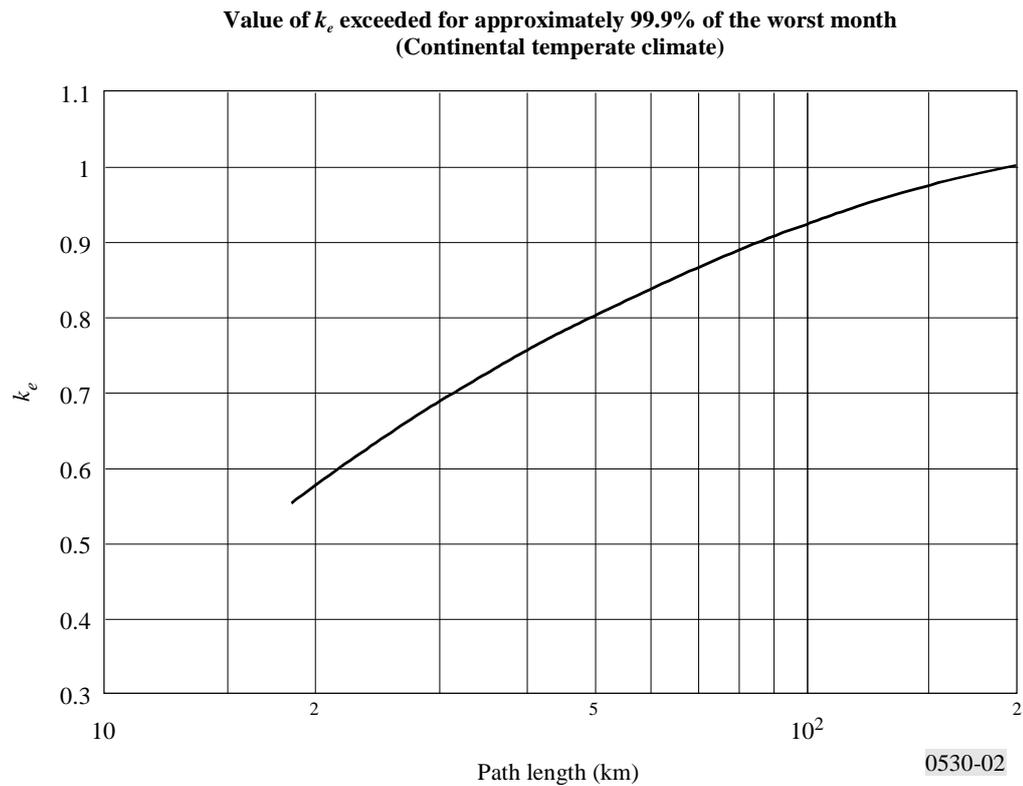


Figura 18 – Valor de K excedido para 99,9% do tempo no pior mês do ano
(Clima continental temperado)

Fonte: ITU-R P-530-9, 2001

4.7 DIFRAÇÃO

O fenômeno da difração é causado pelos eventuais obstáculos que possam existir entre a estação transmissora e a estação receptora.

Segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008), a definição de difração é a seguinte: “A difração explica como a energia de RF (radiofrequência) pode “viajar” entre transmissor e receptor sem linha de visada. Esse fenômeno ocorre quando uma onda caminhante é limitada, em seu avanço, por um objeto, opção que deixa passar apenas uma fração das frentes de onda, e pode ser observado como uma propagação da onda para regiões além do objeto e situadas na sombra desde em relação à direção da onda incidente, ou como a propagação da onda em direções preferenciais, etc.

Portanto, se algum obstáculo interrompe parte da frente de onda, os radiadores comporão uma nova onda, com características de frentes diferentes da onda original, uma vez que esta escapa para os lados, muda de direção e propagação.”

Para tratar deste assunto é preciso lembrar que o cálculo de perdas por difração não pode ser considerado preciso. Isto ocorre, pois existe uma variedade quase infinita de formas de obstáculos que podem aparecer entre as estações de rádio e com isso não é viável criar algum modelo matemático para tal previsão.

Um fato importante a se observar é que a difração está intimamente ligada ao fator K , de maneira que quanto menor for o valor de K , maior será o efeito da difração devido à curvatura da Terra, como pode ser visto na Figura 19.

Através da Recomendação P 526-7 do ITU-R pode-se obter as diretrizes para as estimativas de perdas.



Figura 19 – Difração devido à superfície da Terra

Fonte: FELICE, 2005

4.8 REFLEXÃO

Reflexão é a modificação da direção de propagação de uma onda que incide sobre uma superfície que separa dois meios diferentes e retorna para o meio inicial.

A reflexão de uma onda eletromagnética se deve à superfície do solo, obstáculos próximos ou distantes, ou ainda das camadas atmosféricas.

Um dos problemas da reflexão é que há um atraso entre o sinal transmitido diretamente entre o transmissor e o receptor e o sinal que é refletido por alguma superfície. Este atraso causa uma interferência que pode ser muito prejudicial para as comunicações entre estações.

Na Figura 20 é possível um exemplo de reflexão em uma superfície irregular.

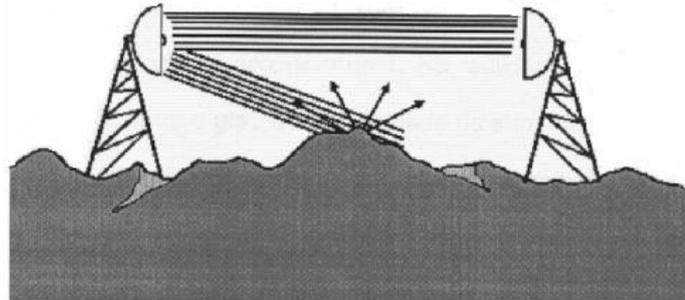


Figura 20 – Reflexão em superfície irregular

Fonte: FELICE, 2005

Já na Figura 21 é possível ver o tipo mais preocupante de reflexão que é a reflexão em superfícies planas.

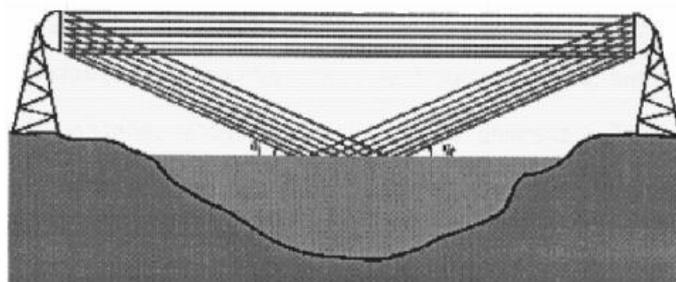


Figura 21 – Reflexão em superfície plana

Fonte: FELICE, 2005

4.9 ATENUAÇÃO DEVIDO A CHUVAS

Chuvas, de maneira geral, constituem um fator que contribui de maneira considerável para a interrupção do sinal transmitido entre estações de rádio. Cabe aos projetistas dimensionar corretamente os equipamentos para que esta interrupção seja a menor possível.

Existem alguns modelos para tratar sobre a atenuação devido às chuvas. Aqui será tratado o método do ITU-R 838 e 530-7.

Neste método, o ponto de partida é a taxa pluviométrica excedida em 0,01% do tempo ao longo de um ano, ou seja, cerca de 53 minutos.

Em seguida, calcula-se a “atenuação específica” para o lance, que é definida como a atenuação por quilômetro do lance provocada por chuva. Essa atenuação depende da frequência, da polarização e da taxa pluviométrica, conforme as equações a seguir:

- Polarização Vertical: $\gamma_r = K_v \cdot R^{\alpha_v}$ [6]

- Polarização Horizontal: $\gamma_r = K_h \cdot R^{\alpha_h}$ [7]

Em que:

- γ_r - atenuação específica (dB/km);
- R – taxa pluviométrica para 0,01% do tempo (mm/h);
- K_v e K_h - coeficientes dependentes da estrutura da chuva;
- α_h e α_v - coeficientes dependentes da estrutura da chuva.

A Tabela 7 relaciona os valores dos coeficientes dependentes da estrutura da chuva.

Tabela 7 – Parâmetros de chuva (recomendações ITU-R 838)

Frequência (GHz)	K_h	K_v	α_h	α_v
6	0,00175	0,00155	1,30800	1,26500
7	0,00301	0,00265	1,33200	1,31200
8	0,00454	0,00395	1,32700	1,31000
10	0,01010	0,00887	1,27600	1,26400
12	0,01880	0,01680	1,21700	1,20000
15	0,03670	0,03350	1,15400	1,12800
20	0,07510	0,06910	1,09900	1,06500
25	0,12400	0,11300	1,06100	1,03000
30	0,18700	0,16700	1,02100	1,00000
35	0,26300	0,23300	0,97900	0,96300
40	0,35000	0,31000	0,93900	0,92900

Fonte: Miyoshi, 2008

4.10 ATENUAÇÃO CAUSADA PELA ATMOSFERA

A atenuação causada pela atmosfera deve ser considerada em projetos sistêmicos de radioenlace, principalmente em frequências mais altas, apesar de ter menor influência do que as perdas até aqui citadas.

De maneira simples, pode-se dizer que a atenuação causada pela atmosfera ocorre devido a dois componentes da atmosfera: oxigênio e vapor d'água.

Resumidamente, adotam-se os parâmetros citados na Tabela 8 para garantir a disponibilidade de um projeto, segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008).

Tabela 8 – Atenuação devido à atmosfera (recomendações ITU-R 838)

Frequência (GHz)	Atenuação (dB/km)
8	0,010
15	0,038
18	0,049
23	0,160
38	0,140

Fonte: Miyoshi, 2008

5. DIMENSIONAMENTO DE RADIOENLACES

Neste capítulo serão abordadas as premissas básicas para um projeto de radioenlace.

5.1 DEFINIÇÃO DAS ESTAÇÕES

O primeiro passo para um projeto de radioenlace é definir a localização das estações, ou seja, a posição geográfica e altitude das torres e antenas para que os equipamentos possam funcionar corretamente.

Como já foi visto, a principal preocupação nessa fase do projeto é que não exista nenhum obstáculo entre uma estação e outra, ou seja, que haja visada entre elas.

Depois de obedecidas as regras descritas acima, é o momento de definir as frequências a serem utilizadas no enlace, de acordo com a distância entre uma estação e outra.

5.2 SELEÇÃO DA FAIXA DE FREQUÊNCIAS

Escolher a faixa de frequências de maneira certa é o segundo passo para um projeto bem estruturado.

A regra básica para escolha da frequência baseia-se na Tabela 9, onde a faixa de frequência está relacionada com a distância entre as estações envolvidas.

Para calcular a distância entre duas estações, pode ser utilizado um software específico ou fazer o cálculo manualmente.

Neste trabalho, foi desenvolvida uma planilha para realizar este cálculo.

A seguir, na Figura 22, tem-se uma visão da tabela construída no software Microsoft Excel, para cálculo da distância entre as estações e definição dos azimutes das mesmas.

SITE A		SITE B	
LAT	29° 08' 46,3"	LAT	29° 12' 31,1"
LON	51° 11' 49,0"	LON	51° 17' 05,0"
X	480843	X	472322
Y	6775755	Y	6768820
Distância:	10 986 m		
Azimute AB:	231 °		
Azimute BA:	51 °		

Figura 22 – Planilha para cálculo de distâncias geográficas

Uma vez definida a distância entre as estações, pode ser definida a faixa de frequências conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Distâncias atendidas por faixa de frequência

Distância [km]	Frequência [GHz]
< 1	38
1 < x < 3	23
3 < x < 6	18
6 < x < 15	15
> 15	8

Fonte: Miyoshi, 2008

5.3 TIPOS DE ANTENA

Os parâmetros das antenas a ser utilizadas em um determinado radioenlace devem ser definidos caso a caso.

Como regra geral, deve-se usar antenas de dupla polarização para rádios de alta capacidade.

Em estações com três ou mais direções, ou com previsão de aumento futuro, recomenda-se utilizar antenas de alto desempenho.

5.3.1 Dimensionamento da Altura das Antenas

Para que seja feito o correto dimensionamento da altura das antenas, alguns fatores devem ser considerados. Alguns softwares fornecem facilmente esses dados, mas será descrito aqui um método numérico para a especificação da altura de cada antena.

Uma premissa para este cálculo é a definição do fator K, já descrito anteriormente.

Este cálculo baseia-se em definir a altura em uma das estações e com isso encontrar a altura correta para a segunda estação.

A equação que define o cálculo, para $K=4/3$, é a seguinte:

$$h_2 = \frac{d \cdot (h_{pc} + H_C + M_C + M_S - h_B) - d_2 \cdot (h_A + h_1 - h_B)}{d_1} \quad [8]$$

Onde:

- d – distância do enlace: distância total do enlace em km.
- d_1 - distância do obstáculo à estação A: distância em km, entre o ponto crítico e a estação A.
- d_2 - distância do obstáculo à estação B: distância em km, entre o ponto crítico e a estação B.
- h_A - altitude da estação A em relação ao nível do mar.
- h_B - altitude da estação B em relação ao nível do mar.
- h_{pc} - altitude do obstáculo/ponto crítico em relação ao nível do mar.
- h_1 - altura da antena A em relação ao solo.

- h_2 - altura da antena B em relação ao solo.
- H_C - correção equivalente da Terra para $K=4/3$ + 100% do raio de Fresnel no ponto crítico: soma dos itens H_m e RF.
- M_C - margem de crescimento de árvores no ponto crítico: para uma segurança adequada, considerar 3 metros.
- M_S - margem de segurança devido à precisão das medidas: para uma segurança adequada, considerar 5 metros.
- RF - 100% do raio de Fresnel no ponto crítico:

$$\circ R_n = 550. \left[\frac{n.d_1.d_2}{d.f} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [9]$$

- f – frequência do enlace: frequência central de operação do enlace em GHz;
- n – número do elipsóide de Fresnel: tipicamente assume o valor 1.
- H_m – Correção equivalente da curvatura da Terra para $K=4/3$ para o ponto crítico:
 - $H_m = \frac{d_1.d_2}{K.12.740} \quad [10]$
 - 12.740 km é o diâmetro médio da Terra.

Já na Figura 23, pode-se ver a planilha desenvolvida, também no software Excel, que executa o cálculo da altura das antenas, considerando o raio de Fresnel ($K=4/3$).

		Estação A	Estação B	Unid.
Nome da estação		Caxias	Farroupilha	
Altitude da estação	H	811	768	mts
Coordenadas da estação	Lat.	29° 09' 55,0"	29° 12' 31,0"	
	Long.	51° 09' 48,0"	51° 17' 05,0"	
Distância total do enlace	D	12,74		km
Frequência do Enlace	F	15,00		GHz
Distância do ponto crítico à estação	d	6,00	6,74	km
Altitude do ponto crítico	Hpc	800,00		mts
100% do Raio de Fresnel no ponto crítico	RF	8,00		mts
Correção da curvatura da Terra p/ K=4/3	Hm	2,38		mts
100% do Raio de Fresnel + Correção da curvatura da Terra p/ K=4/3	Hc	10,38		mts
Margem de crescimento de árvores no ponto crítico	Mc	3,0		mts
Margem de segurança devido à precisão das medidas	Ms	5,0		mts
Altura da antena	H	30,00	24,97	mts

OBS: células coloridas tem preenchimento automático

Figura 23 – Planilha para cálculo da altura das antenas

5.4 ELABORAÇÃO DO PLANO DE FREQUÊNCIAS

A elaboração de um plano de frequências é uma fase muito importante do projeto, pois é através desta análise que se previne possíveis interferências futuras entre as frequências de uma estação e até mesmo entre estações vizinhas.

Fazer o plano de frequências consiste em escolher a correta canalização e polarização a serem adotadas no projeto, prevenindo problemas futuros.

Existem algumas regras básicas para executar o plano de frequências:

- Utilizar um canal de separação e polarização trocada com relação ao enlace adjacente com ângulo menor que 30°.
- Utilizar um canal de separação ou polarização trocada com relação ao enlace adjacente com ângulo relativamente pequeno (entre 30° e 120°).

5.5 CÁLCULO DE DESEMPENHO E DISPONIBILIDADE

O cálculo de desempenho e disponibilidade de um determinado radioenlace é o conjunto de parâmetros que define se este é viável ou não, fornecendo uma visão qualitativa e quantitativa do sinal transmitido.

A seguir serão descritos os principais parâmetros para realizar este cálculo.

5.5.1 Atenuação no Espaço Livre - A_e

Segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008), a principal atenuação para enlaces que utilizam frequências acima de 10 GHz é a atenuação no espaço livre.

Com isso, será considerada apenas esta atenuação, pois os radioenlaces mais utilizados, hoje em dia, estão na faixa entre 8 GHz e 38 GHz.

A atenuação no espaço livre pode ser calculada através da equação [4].

5.5.2 Atenuação Total Líquida - a_t

A atenuação líquida total, num enlace, é dada por:

$$A_t = A_e + A_{ab} + A_{ca} + A_{cb} - (G_T + G_R) \quad [11]$$

Onde:

- A_e - atenuação no espaço livre [dB];
- A_{ab} - atenuação devido à absorção na atmosfera [dB];
- A_{ca} - atenuação no guia de onda ou cabo de RF da estação A [dB];
- A_{cb} - atenuação no guia de onda ou cabo de RF da estação B [dB];
- $G_T + G_R$ - ganhos das antenas de transmissão e recepção [dBi].

Para o parâmetro de atenuação devido à absorção na atmosfera (A_{ab}), já descrito anteriormente, pode-se adotar um valor constante de 0,5 dB para simplificar o cálculo.

Quanto à atenuação nos guias de onda, da mesma forma, adota-se uma atenuação média de 0,5 dB para cada estação.

Já para definir os ganhos das antenas, é preciso consultar os manuais dos fabricantes das mesmas.

5.5.3 Nível de Recepção Nominal - P_{RN}

O nível de recepção nominal, sem desvanecimento, é dado por:

$$P_{RN} = P_T - A_T \quad [12]$$

Onde:

- P_{RN} - nível de recepção nominal [dBm];
- P_T - potência de transmissão [dBm];
- A_T - atenuação total [dB].

5.5.4 Margem Líquida do Enlace – FFM

A margem líquida do enlace, para desvanecimento plano, é obtida através da seguinte equação:

$$FFM = P_{RN} - P_{RSES} \quad [13]$$

Onde:

- FFM – flat fading margin;
- P_{RN} - nível de recepção nominal;
- P_{RSES} - limiar de recepção do equipamento.

5.5.5 Cálculo de Indisponibilidade

Segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008), acima da faixa de operação de 10 GHz, as perturbações do sistema são predominantemente por atenuações advindas de precipitações atmosféricas. Esse tipo de atenuação é considerado desvanecimento plano por atuar em uma larga faixa do espectro de radiofrequência.

A probabilidade de interrupção devido ao desvanecimento pela chuva pode ser calculada pela seguinte equação:

$$I_{\text{CHUVA}} = 10^{-6,34 + \sqrt{40,29 - 23,25 * \log\left(\frac{8,33 * \text{FFM}}{AT_{0,01}}\right)}} \quad [14]$$

Onde:

- FFM – margem líquida do enlace para desvanecimento plano;
- $AT_{0,01}$ – atenuação para 0,01% do tempo.

Para o cálculo de A_T é necessário considerar a atenuação unitária devido à chuva (γ_R) e o comprimento efetivo (D_{EF}), como mostrado abaixo, bem como as equações [6], [7] e [13]:

$$A_{T0,01} = D_{EF} * \gamma_R \text{ [dB]} \quad [15]$$

$$D_{EF} = d * \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \text{ [km]} \quad [16]$$

$$d_0 = 35e^{(-0,015 * R_{0,01})} \quad [17]$$

Onde:

- D_{EF} – comprimento efetivo do enlace;
- d – distância do enlace [km];
- $R_{0,01}$ - densidade de chuva [mm/h];

Para simplificar o cálculo da indisponibilidade, faz-se uso da Tabela 7, onde se obtém os valores de K e α .

Utiliza-se, para o parâmetro $R_{0,01}$, o valor 95mm/h, pois é um valor estatístico e conveniente para efeito de cálculo, segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008).

6. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será feito um estudo de caso sobre o projeto de transmissão entre duas estações situadas na serra gaúcha, bem como o cálculo de desempenho do mesmo.

6.1 DEFINIÇÃO DAS ESTAÇÕES

O primeiro passo para começar um projeto de radioenlace é definir a localização das estações, ou seja, a posição geográfica das torres e antenas para que os equipamentos possam funcionar corretamente.

Como já foi visto anteriormente, a localização das estações deve ser definida de maneira que não haja nenhum obstáculo entre elas, ou seja, que haja visada entre as mesmas, sem a obstrução do primeiro elipsóide de Fresnel, pelo menos.

Assim, para este estudo, será projetada a comunicação entre uma estação situada na cidade de Caxias do Sul –RS e outra situada na cidade de Farroupilha – RS.

Como Caxias do Sul, é uma cidade pólo na região em que se encontra, primeiro vamos definir a posição do site nesta cidade.

Analisando a geografia e aspectos urbanos, o ponto escolhido para o site de Caxias do sul é o seguinte:

- Latitude: 29°09'55" S
- Longitude: 51°09'48" O
 - Altitude/Elevação: 811m acima do nível do mar.

Para o site de Farroupilha, escolheu-se um ponto intermediário entre as duas cidades, pois assim é possível obter um incremento na capacidade de construção de redes de acesso.

Assim, as coordenadas geográficas do site Farroupilha são:

- Latitude: 29°12'31" S
- Longitude: 51°17'05" O
 - Altitude/Elevação: 768m acima do nível do mar.

Na Figura 24, vêem-se a localização de ambas as estações.

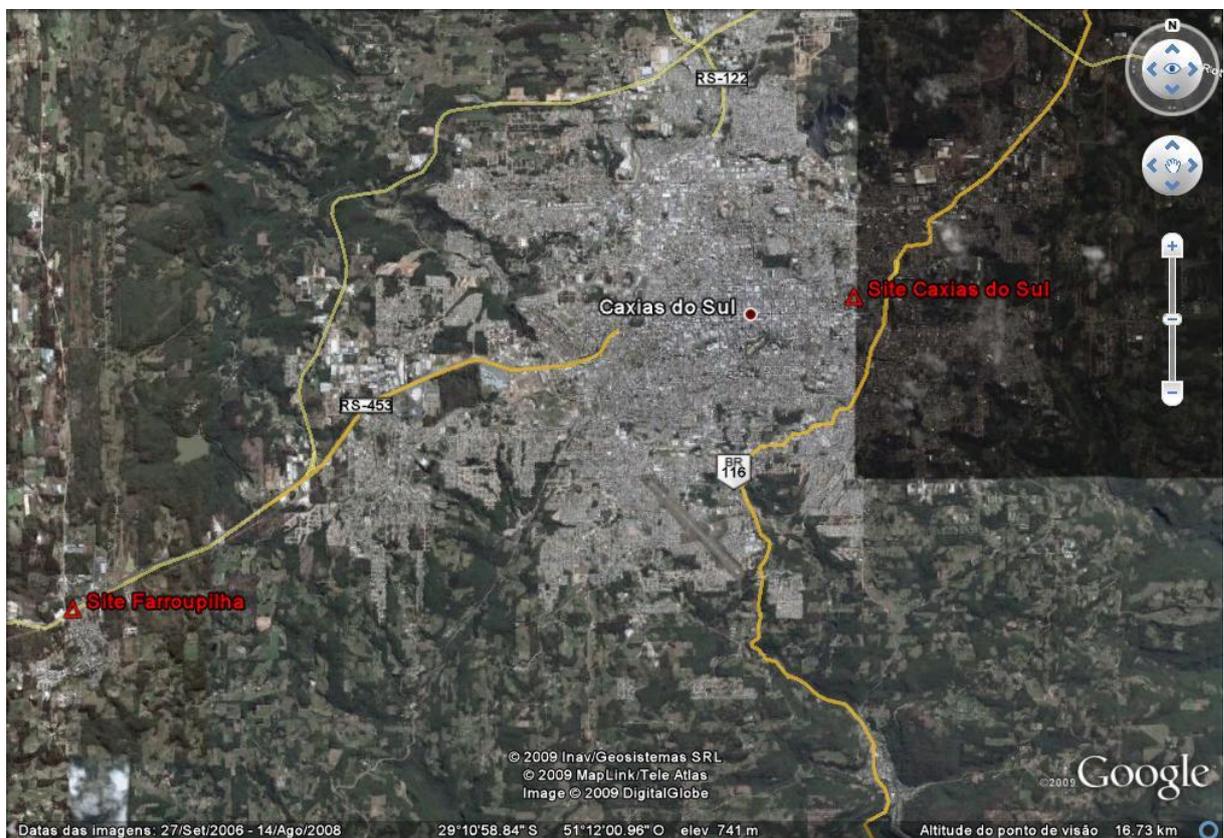


Figura 24 - Localização do site Caxias do Sul e site Farroupilha

6.2 PARÂMETROS DO ENLACE

6.2.1 Distância e azimutes entre estações

Analisando as coordenadas dos sites definidas anteriormente, de acordo com a necessidade e disponibilidade de espaço, define-se a distância entre as estações e os azimutes entre as mesmas.

Para isso, faz-se uso de uma planilha de Excel, previamente desenvolvida. Esta planilha tem origem em equações amplamente conhecidas para cálculo de distâncias, em linha reta, sobre o globo terrestre.

Para realizar o cálculo, inserem-se as coordenadas geográficas, sob o *Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84)*, cuja precisão é igual ou inferior a 1 metro, dependendo da localidade. Após isso, a planilha converte este padrão para o *Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM)*. Com isso, a planilha executa o cálculo da distância e dos azimutes que devem ser configurados em cada estação.

Assim, tem-se:

SITE A		SITE B	
LAT	29° 09' 55,0"	LAT	29° 12' 31,0"
LON	51° 09' 48,0"	LON	51° 17' 05,0"
X	484116	X	472323
Y	6773645	Y	6768822
Distância:		12 742 m	
Azimute AB:		248 °	
Azimute BA:		68 °	

Figura 25 - Cálculo da distância e azimute entre o site Caxias do Sul e Farroupilha

Como visto na Figura 25, a distância entre as estações é de 12,7 km.

6.2.2 Verificação da visada

Para ter certeza que não há obstáculos entre uma estação e outra, dentro do primeiro elipsóide de Fresnel, é preciso fazer o levantamento do perfil topográfico da região compreendida entre as estações.

Assim, deve-se consultar os mapas do exército, pois são consideradas as fontes disponíveis mais confiáveis.

Outra forma de levantar o perfil topográfico é através de softwares específicos, como o Radio Mobile, Path Loss, Planet e Aircom, ou ainda através do sistema disponibilizado pela Anatel, chamado SIGAnatel. Dentre os softwares citados, apenas o Radio Mobile é um software livre. Abaixo, será descrito o levantamento de perfil através de algumas destas fontes.

Na Figura 26, temos o levantamento do perfil do radioenlace, através das cartas do exército.

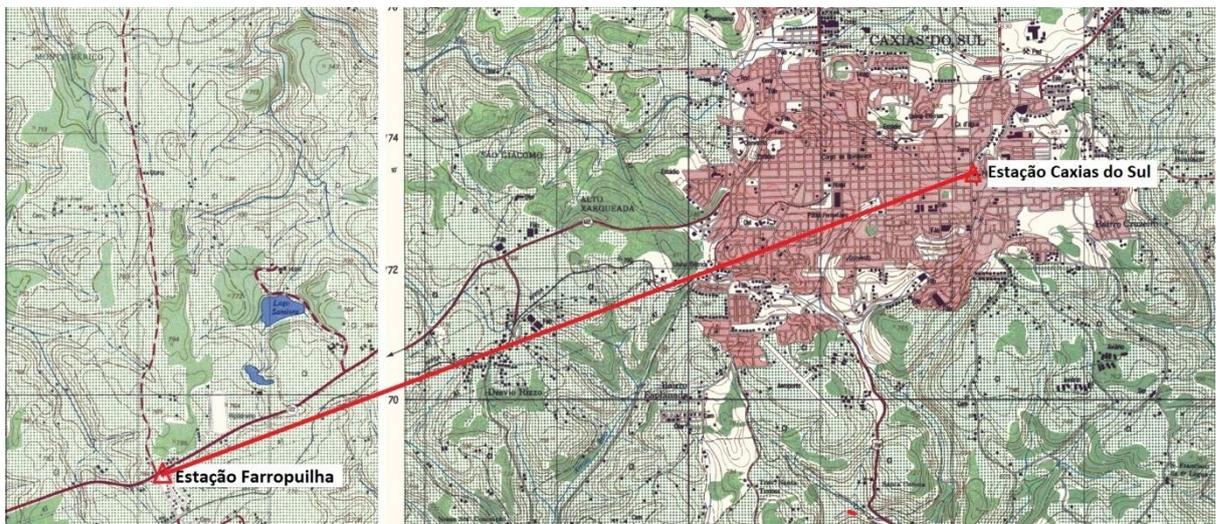


Figura 26 – Levantamento do trajeto entre a estação Caxias do Sul e Farroupilha através das cartas do exército

Fonte: Exército Brasileiro, 2009

Uma vez traçado o trajeto entre as estações, neste método, é preciso fazer o estudo das curvas de nível para garantir que não há obstáculos dentro o primeiro elipsóide de Fresnel. Isso pode ser feito manualmente, ou utilizando algum software, como o Path Loss, por exemplo.

Já no sistema fornecido pela Anatel, basta inserir as coordenadas de cada estação e o software disponibiliza o perfil topográfico diretamente, como pode ser visto na Figura 27.

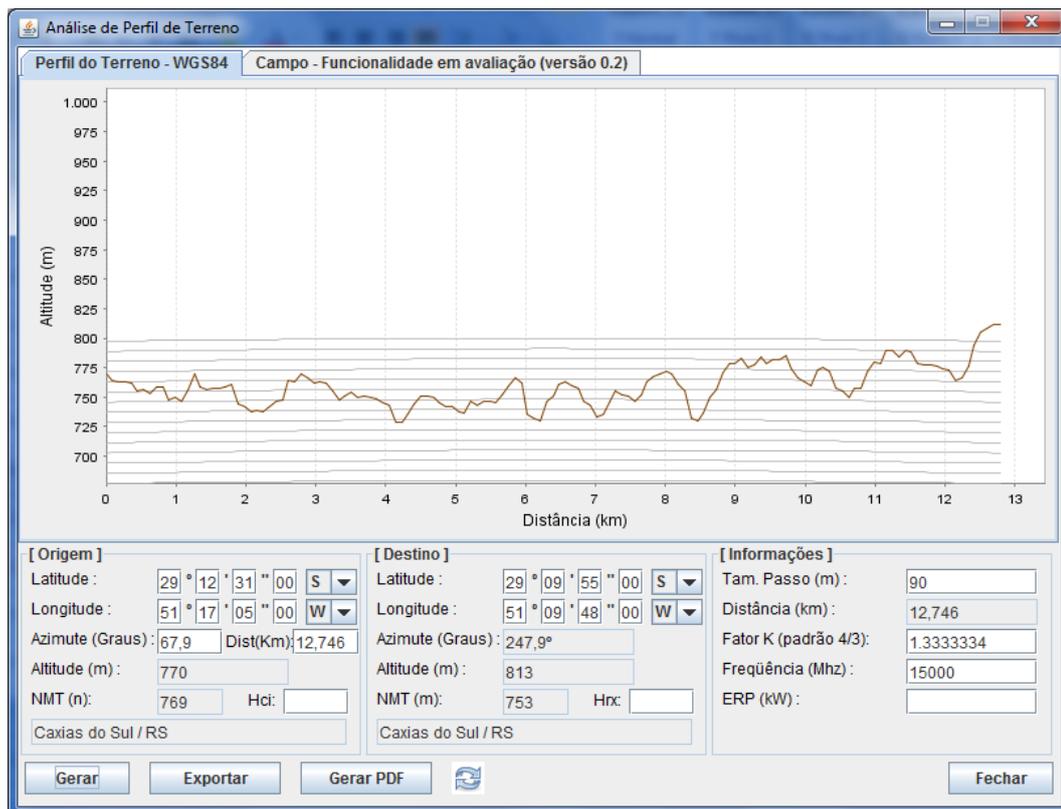


Figura 27 – Levantamento do perfil topográfico entre as estações Caxias do Sul e Farroupilha através do software SIGAnatel

Fonte: SIGAnatel

Já em softwares como o Aircom e o Planet, inserem-se as coordenadas, e os parâmetros do radioenlace e obtém-se um perfil que já considera o elipsóide de Fresnel, como é possível verificar na Figura 28.

Nesta imagem, os elipsóides de Fresnel são calculados para $K=4/3$ (linhas em vermelho) e também para um $K=0,67$ (linhas em azul).

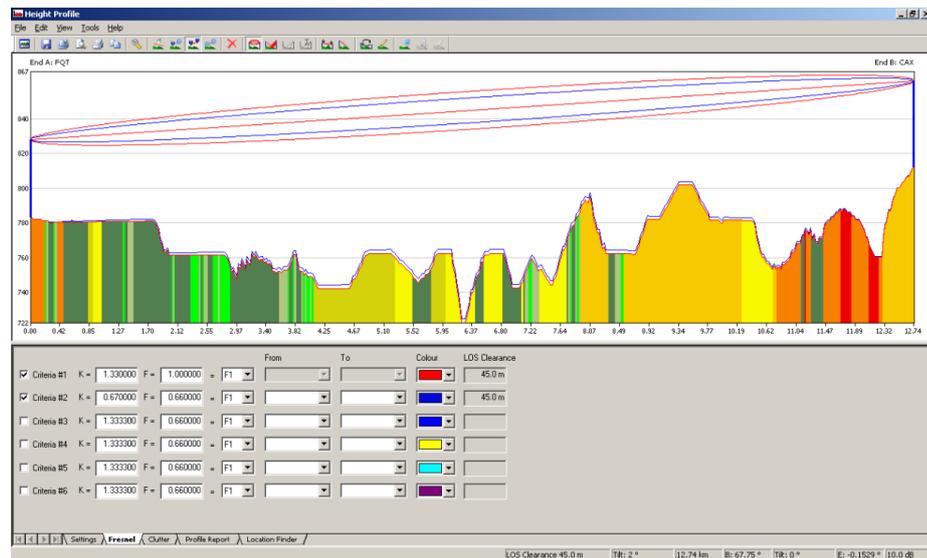


Figura 28 – Levantamento do perfil topográfico entre as estações Caxias do Sul e Farroupilha através do software Aircom

Fonte: Software Aircom, 2009

Percebe-se nesta imagem que, para um $K=4/3$, a elipsóide fica maior, o que garante uma maior segurança para o radioenlace projetado, neste caso.

Na Figura 29, temos o mesmo perfil, mas agora obtido através do software Radio Mobile, para um $K=4/3$.

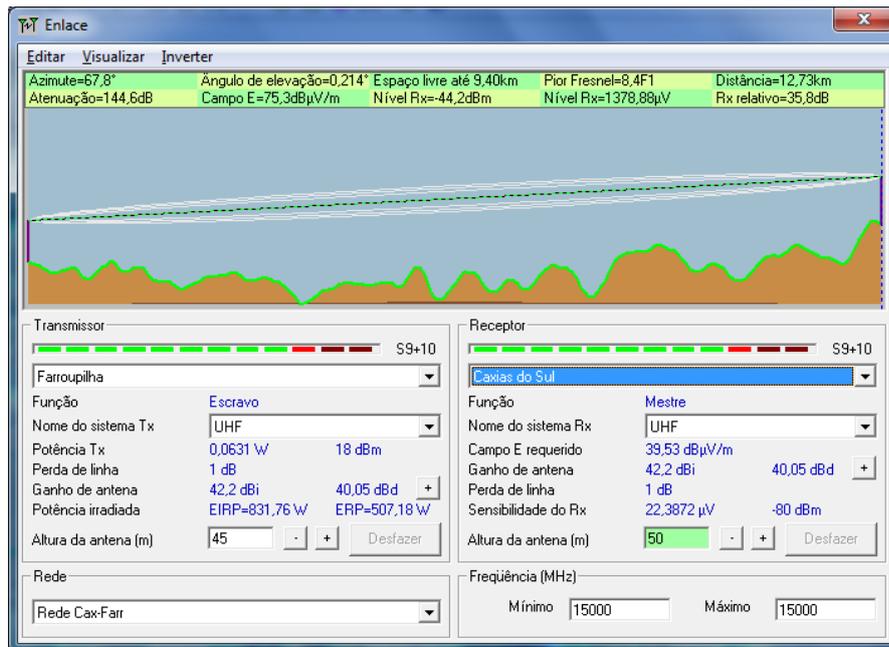


Figura 29 – Levantamento do perfil topográfico entre as estações Caxias do Sul e Farroupilha através do software Radio Mobile

Fonte: Software Radio Mobile, 2009.

Depois de analisar o perfil do terreno através das várias formas descritas acima, verificou-se visada entre uma estação e outra, sem obstáculos dentro da zona de Fresnel.

Evidentemente, num projeto real de radioenlace, verificar a visada através de uma destas formas já é suficiente, pois antes de ser instalado o equipamento, é feita visada na prática. Desta forma, obtém-se a forma mais segura de garantir visada entre estações.

6.2.3 Frequência a ser utilizada no enlace

A partir da distância do enlace, deve-se definir a frequência a ser utilizada. Para isso, usa-se a Tabela 9, obtida na bibliografia.

A partir desta tabela, obtemos a frequência de 15 GHz para o enlace dimensionado, uma vez que a distância entre uma estação e outra é de 12,7km.

6.2.4 Definição da altura das antenas

Para definir a altura das antenas, em relação ao solo, é preciso levar em conta o perfil topográfico e o primeiro elipsóide de Fresnel.

Caso exista algum obstáculo entre as estações, a altura das antenas deve ser acrescida até que o obstáculo saia da região compreendida pelo elipsóide de Fresnel. Obviamente, a altura máxima da antena deve respeitar os limites físicos da torre onde a antena será instalada.

Neste caso, não há obstáculos entre as estações, então se define convenientemente a altura das antenas visando o baixo custo e a ocupação da torre.

Para fins de cálculo, adotaram-se os seguintes valores para altura das antenas:

- Caxias do Sul: 50m do solo.
- Farroupilha: 45m do solo.

6.2.5 Definição da capacidade do enlace e dos equipamentos a serem utilizados

É parte fundamental do planejamento de redes de transmissão a definição da capacidade de transmissão de cada trecho, bem como os equipamentos utilizados.

Neste caso, está sendo planejada uma rede de acesso, cuja capacidade será de 8E1.

Este parâmetro é definido de acordo com a necessidade de cada rede, dependendo da região onde se encontra e da quantidade de informação a ser transmitida.

Neste estudo, este valor foi arbitrado de maneira individual, baseando-se apenas em equipamentos instalados na mesma região, por grandes empresas de telecomunicações móveis e por ser a capacidade máxima permitida para esta frequência.

Quanto ao equipamento, foi escolhido um rádio da empresa Ericsson, modelo Mini-link.

A partir do manual deste rádio, obtiveram-se os parâmetros do equipamento, listados abaixo:

- Fabricante: Ericsson;
- Modelo: Mini-link 15 GHz;
- Capacidade de transmissão: 8E1;
- Potência do rádio: 18dB;
- Limiar de recepção: -80dB.

Cabe ressaltar que a polarização escolhida foi a vertical, uma vez que esta é menos suscetível a atenuações do que a horizontal.

Quanto ao modelo das antenas, utilizou-se a linha de alto desempenho da empresa Andrew.

Para definir o modelo específico, é preciso considerar os parâmetros do radioenlace e definir o tamanho e características das antenas que o enlace necessita.

Como uma das preocupações das empresas é o custo, num primeiro momento, adota-se a menor antena possível, para a frequência especificada.

Assim, o modelo escolhido é o VHP2-142, que têm as seguintes características:

- Fabricante: Andrew;
- Modelo: VHP2-142;
- Diâmetro: 0,6m;
- Ganho da antena: 36,20dBi;
- Peso da antena: 14kg.

6.3 CÁLCULO DE DESEMPENHO E DISPONIBILIDADE

Depois de definido os parâmetros e configurações básicas do enlace projetado, deve-se fazer o cálculo de desempenho e disponibilidade para ter certeza de que o enlace funcionará corretamente.

6.3.1 Atenuação no espaço livre – A_e

Como já foi visto anteriormente, a atenuação no espaço livre é calculada pela equação [4], citada anteriormente.

Assim, tem-se:

$$A_e = 32,4 + 20 \log(15.000 \times 12,73) = 138 \text{ dB}$$

6.3.2 Atenuação total líquida

Este parâmetro é calculado pela equação [11]:

$$A_t = A_e + A_{ab} + A_{ca} + A_{cb} - (G_T + G_R) = 0,5 + 0,5 + 0,5 + 138 - (36,2 + 36,2) = 67,1$$

$$\mathbf{A_t = 67,1 \text{ dB}}$$

6.3.3 Nível de recepção

Utilizando a equação [12], tem-se:

$$P_{RN} = P_T - A_T = 18 - 67,1 = -49,1 \text{ dBm}$$

6.3.4 Margem líquida do enlace - FFM

Este parâmetro, descrito anteriormente na equação [13], tem seu valor calculado da seguinte forma:

$$FFM = P_{RN} - P_{RSES} = -49,1 - (-80,00) = 30,9\text{dB}$$

6.3.5 Cálculo de indisponibilidade

Este parâmetro é calculado considerando a indisponibilidade devido às chuvas, à falha de equipamentos e também devido ao desvanecimento plano e seletivo de longa duração.

Segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008), o principal fator de indisponibilidade deve-se às chuvas, tornado assim o cálculo simplificado uma vez que, na prática, desconsidera-se a indisponibilidade devido à falha de equipamentos e ao desvanecimento.

Assim, para quantificar a indisponibilidade devido às chuvas, faz-se uso das seguintes equações já descritas neste documento:

$$d_0 = 35e^{(-0,015 \cdot R_{0,01}^g)} = 35e^{(-0,015 \cdot 95)} = 8,4178 \text{ km} \quad [17]$$

$$D_{EF} = d * \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} = 12,73 * \frac{1}{1 + \frac{12,73}{8,4178}} = 5,0671 \text{ km} \quad [16]$$

$$\gamma_r = K_v \cdot R^{\alpha v} = 0,0335 * 95^{1,128} = 5,7 \quad [6]$$

$$A_{T0,01} = D_{EF} * \gamma_R = 5,0671 * 5,7 = 28,8853 \text{ dB} \quad [15]$$

$$FFM = P_{RN} - P_{RSES} = -49,1 - (-80) = 30,9 \text{ dB} \quad [13]$$

Finalmente, é possível calcular a atenuação devido às chuvas, através da equação [14]:

$$I_{CHUVA} = 10^{-6,34 + \sqrt{40,29 - 23,25 * \log\left(\frac{8,33 * FFM}{A_{T0,01}}\right)}} = 10^{-6,34 + \sqrt{40,29 - 23,25 * \log\left(\frac{8,33 * 30,9}{28,8853}\right)}} = 8,4457E-3\%$$

Assim, pode-se calcular a disponibilidade que é dada por:

$$\text{Disponibilidade} = 1 - I_{CHUVA} = 1 - 8,4457E-3 = 0,9916 \quad [18]$$

Como parâmetros práticos para determinar a viabilidade de um radioenlace consideram-se o nível de recepção (P_{RN}), a margem líquida do enlace (FFM) e a indisponibilidade ou disponibilidade do mesmo (I_{CHUVA}).

Para projetos de radioenlace, considerando o projeto prático e usual, devem ser obedecidas as seguintes condições:

- Disponibilidade > 99,996 % do tempo ao longo de um ano.

Este parâmetro é aplicável para radioenlaces baseados na hierarquia PDH. No caso da hierarquia SDH, devido às altas taxas de transmissão de dados, o parâmetro deve ser considerado como 99,998%, no mínimo, segundo (MIYOSHI; SANCHES, 2008).

6.3.6 Conclusões

Como dito anteriormente, a disponibilidade mínima para um radioenlace utilizando hierarquia PDH é de 99.996% do tempo. Como neste calculo obteve-se uma disponibilidade de 99,16%, conclui-se que este enlace não cumpre as exigências mínimas para a comunicação entre as duas estações definidas.

Este problema pode ser corrigido aumentando-se o tamanho das antenas utilizadas, aumentando assim o ganho das mesmas e como consequência disso, a disponibilidade também aumenta.

Deve-se aumentar o diâmetro das antenas, uma por vez, até que o parâmetro de disponibilidade seja cumprido. É imprescindível neste momento, observar a capacidade das torres, e a ocupação das mesmas.

Na prática, começa-se aumentando o diâmetro da antena na torre que tenha o menor nível de ocupação e maior capacidade de carregamento.

Observa-se também uma diferença no cálculo da disponibilidade entre a utilização de canalização vertical e horizontal. Quando é utilizada a canalização horizontal, a indisponibilidade aumenta. Este fato deve-se a uma relação entre a frequência de operação e a dimensão e a forma das gotas da chuva. Isto ocorre, pois em frequências elevadas, o comprimento de onda torna-se próximo das dimensões típicas das gotas. Em uma chuva fraca, considera-se que a chuva tem um formato esférico. Entretanto, em chuvas fortes, a gota adquire uma forma chamada “esferóide oblato”, como mostrado na Figura 30.

Assim, quando utilizada a polarização horizontal, as gotas de chuva formam uma espécie de parede ou obstáculo para a onda transmitida. Enquanto que na polarização vertical, o espaço entre as gotas é maior, facilitando a transmissão.

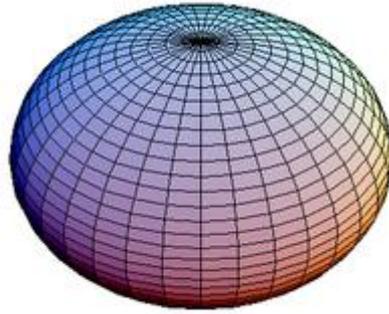


Figura 30 - Forma de um esferóide oblato

Fonte: Wikipédia

6.4 PLANILHA PARA CÁLCULO DE DESEMPENHO DE RADIOENLACES

No intuito de facilitar o cálculo e o correto dimensionamento de radioenlaces, criou-se uma planilha de cálculo que ajuda a definir todos os parâmetros necessários para o projeto de um radioenlace.

É importante salientar que esta planilha considera que não há nenhum obstáculo entre as estações, na zona de Fresnel.

Caso existam obstáculos, devem-se projetar torres mais altas, ou mesmo trocar a posição geográfica de uma ou todas as estações.

Nas Figuras 31 e 32, ilustra-se a planilha acima citada.

Estação A	Estação B	Dist. [km]	Freq. [GHz]	Mod. Rádio	Cap. [E1]	Polariz.	Pot. Rádio [dB]	Limiar de Rx [dB]	Antena A	Ganho Ant. A [dBi]	Antena B
Caxias do Sul	Farroupilha	12,73	15	Minilink 15E	8	V	18,00	-80,00	vhp2-142	36,20	vhp2-142
Caxias do Sul	Farroupilha	12,73	15	Minilink 15E	8	V	18,00	-80,00	vhp4-142	42,20	vhp2-142
Caxias do Sul	Farroupilha	12,73	15	Minilink 15E	8	V	18,00	-80,00	vhp4-142	42,20	vhp4-142
Caxias do Sul	Farroupilha	12,73	15	Minilink 15E	8	H	18,00	-80,00	vhp4-142	42,20	vhp4-142
Caxias do Sul	Farroupilha	12,73	15	Minilink 15E	8	H	18,00	-80,00	vhp6-142	46,00	vhp4-142
Caxias do Sul	Farroupilha	12,73	15	Minilink 15E	8	H	18,00	-80,00	vhp6-142	46,00	vhp6-142

Figura 31 – Planilha de cálculo para dimensionamento de radioenlaces

Ganho Ant. B [dBi]	Atenuação - Espaço Livre [dB]	Atenuação - Total Líquida [dB]	Nível de Recepção [dBm]	Margem Líquida - FFM [dB]	Indisponibilidade de [%]	Disponibilidade de [%]	Critério	Aprovado?	Tempo Fora [min./ano]
36,20	138,0184	67,1184	-49,1184	30,8816	8,460E-03	99,9915	99,996	falso	44,4635
36,20	138,0184	61,1184	-43,1184	36,8816	5,150E-03	99,9948	99,996	falso	27,0708
42,20	138,0184	55,1184	-37,1184	42,8816	3,307E-03	99,9967	99,996	VERDADEIRO	17,3829
42,20	138,0184	55,1184	-37,1184	42,8816	6,090E-03	99,9939	99,996	falso	32,0067
42,20	138,0184	51,3184	-33,3184	46,6816	4,779E-03	99,9952	99,996	falso	25,1170
46,00	138,0184	47,5184	-29,5184	50,4816	3,800E-03	99,9962	99,996	VERDADEIRO	19,9726

Figura 32 – Planilha de cálculo para dimensionamento de radioenlaces

O funcionamento desta planilha é bastante simplificado, o que torna o dimensionamento de radioenlaces uma tarefa dinâmica.

As células coloridas têm preenchimento automático, ou seja, são resultantes de cálculos. Já as células sem cor, precisam ser preenchidas de acordo com o projeto em questão.

Simplificadamente, basta inserir a distância entre as estações, a capacidade de transmissão desejada, a polarização utilizada e os modelos das antenas em ambas as estações.

Com os dados inseridos, a planilha fornece para o usuário, parâmetros como a frequência a ser utilizada, o modelo de rádio, a potência deste rádio, o limiar de recepção do mesmo e o ganho das antenas. Todos estes parâmetros são obtidos, pela planilha, através de tabelas auxiliares que descrevem as configurações e limites para cada item.

As tabelas auxiliares dividem-se em:

- Lista de modelos de antenas;
- Lista de modelos de rádios;
- Tabela de parâmetros de indisponibilidade;
- Tabela de distância em função da frequência;
- Tabela de atenuações.

Uma vez que estejam discriminados todos estes parâmetros, a planilha calcula a atenuação no espaço livre, a atenuação total líquida, o nível de recepção, a margem líquida do enlace (FFM), e finalmente, a indisponibilidade. A planilha também fornece dados adicionais, como por exemplo, o tempo fora (tempo que a radioenlace poderá ficar “fora do ar” ao longo de um ano). Mostra ainda a situação do radioenlace, ou seja, se ele é viável ou não, em função da indisponibilidade calculada.

As fórmulas aplicadas para o cálculo de cada item nesta tabela são as mesmas utilizadas para o cálculo manual, ou seja, as equações [4], [6], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17] e [18].

Neste caso, como é mostrado na Figura 31 e Figura 32, pode-se concluir que é necessária a utilização de antenas com diâmetro maior, ou seja, o parâmetro de disponibilidade só é cumprido quando são utilizadas antenas com, no mínimo, 1,2m de diâmetro na polarização vertical e 1,8m na polarização horizontal, em ambas as estações.

6.5 RESULTADOS

Para que seja possível a análise dos resultados e verificar a real eficácia da planilha desenvolvida neste projeto, é preciso fazer a comparação entre os dados obtidos através da planilha e algum software de projeto de radioenlace, por exemplo.

Para esta comparação, será utilizado o software Radio Mobile.

Abaixo, há uma tabela de comparação entre os dados obtidos.

Tabela 10 – Comparação entre dados obtidos através de planilha e software

Fonte	Distância [km]	Azimute A-B [°]	Azimute B-A [°]	Atenuação [dB]	Nível de Recepção [dBm]
Planilha	12,742	247,8	67,8	138,0184	-37,1184
Software	12,73	247,7	67,8	144,6	-44,2
Diferença	0,9991	0,9996	1,0000	0,9545	1,1908
Erro [%]	0,0942%	0,0404%	0,0000%	4,5516%	-19,0784%

As diferenças que ocorrem quanto ao parâmetro Atenuação, devem-se ao fato de que o Radio Mobile acrescenta uma perda estatística de 6,5 dB. Esta atenuação não é considerada pela planilha construída, pois depende de inúmeros fatores e varia dependendo da situação.

Se a atenuação estatística for considerada na planilha, os valores ficam praticamente iguais.

É importante observar que o parâmetro Nível de Recepção depende diretamente do parâmetro Atenuação. Assim, caso fosse considerado os 6,5 dB de atenuação estatística, o valor do Nível de Recepção calculado pela planilha ficaria em 43,6184 dBm. Valor que se aproxima muito do valor obtido no software.

Na Figura 33, pode-se ver o detalhamento do cálculo feito pelo software.

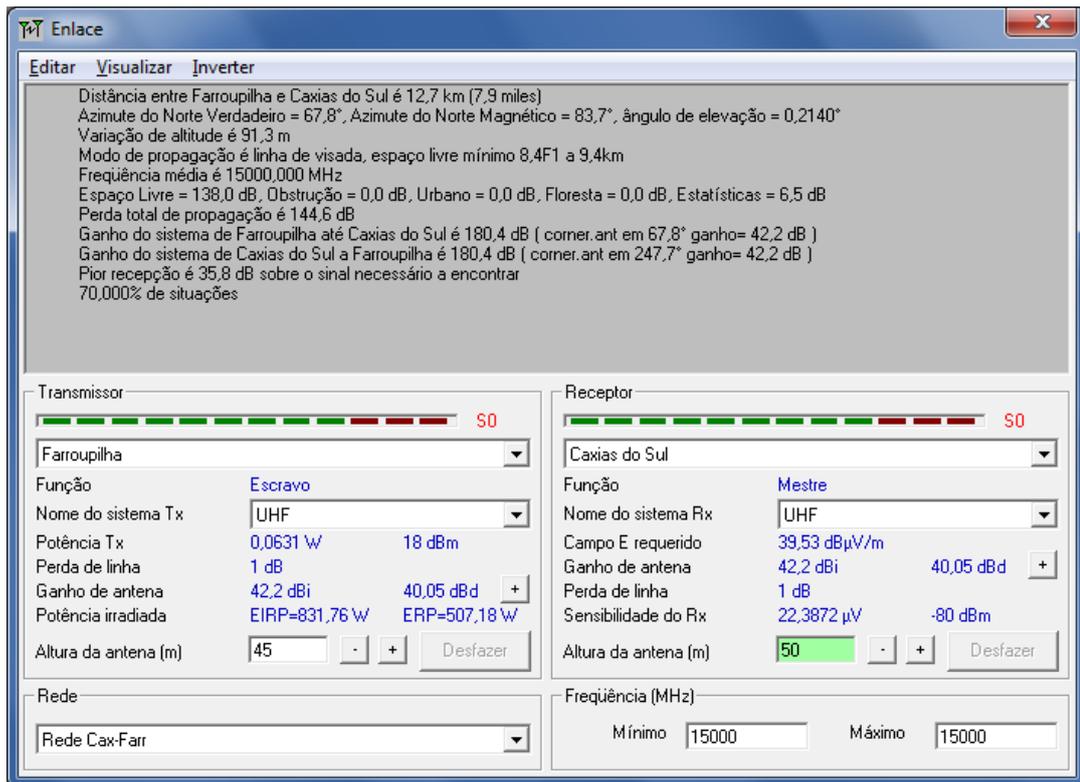


Figura 33 – Detalhamento de cálculo de radioenlace entre Caxias do Sul e Farroupilha

Fonte: Software Radio Mobile, 2009

Assim, pode-se dizer que a planilha desenvolvida neste projeto executa satisfatoriamente o cálculo de desempenho de radioenlaces, facilitando assim o trabalho do projetista, sem que seja necessária a utilização de qualquer software para isso.

6.6 DEFINIÇÃO DO PLANO DE FREQUÊNCIAS

Para finalizar o projeto de um radioenlace é preciso definir, dentro da faixa de frequência escolhida, as frequências específicas a serem utilizadas pelo enlace.

Para realizar a escolha correta, é preciso considerar outros equipamentos instalados na mesma região, e com isso, possíveis interferências.

Tais informações podem ser obtidas no site da Anatel.

Para evitar tais interferências, é aconselhável seguir as seguintes recomendações:

- Verificar outros enlaces que utilizam a mesma faixa de frequência e que estão instalados nos mesmos sites do projeto em questão;
- Verificar outros enlaces que utilizam a mesma faixa de frequência e estão situados nos arredores do enlace que está sendo projetado;
- Procurar utilizar frequências pouco utilizadas dentro da faixa escolhida;
- Utilizar um canal de separação e polarização trocada com relação ao enlace adjacente com ângulo inferior a 30°;
- Utilizar um canal de separação ou polarização trocada com relação ao enlace adjacente com ângulo entre 30° e 120°;
- Nos casos em que o ângulo entre as direções é superior a 120°, normalmente, podem ser utilizados co-canal e co-polarização.

Como neste estudo está sendo considerado um enlace na faixa de 15GHz e com capacidade de 8E1, ou seja, cerca de 17 MBps, a canalização disponível é a mostrada na Tabela 11.

Assim, seguindo as regras citadas acima, deve-se escolher adequadamente o canal de frequências para que não haja interferências no enlace projetado.

Tabela 11 – Canalização de frequências na faixa de 15 GHz

Tecnologia	Faixa	Capacidade	Canal	Freq. Baixa	Freq. Alta	Largura de banda
PDH	15GHz	8x2	1	14.515,0	14.935,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	2	14.529,0	14.949,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	3	14.543,0	14.963,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	4	14.557,0	14.977,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	5	14.571,0	14.991,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	6	14.585,0	15.005,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	7	14.599,0	15.019,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	8	14.613,0	15.033,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	9	14.627,0	15.047,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	10	14.641,0	15.061,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	11	14.655,0	15.075,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	12	14.669,0	15.089,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	13	14.683,0	15.103,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	14	14.697,0	15.117,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	15	14.711,0	15.131,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	16	14.725,0	15.145,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	17	14.739,0	15.159,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	18	14.753,0	15.173,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	19	14.767,0	15.187,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	20	14.781,0	15.201,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	21	14.795,0	15.215,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	22	14.809,0	15.229,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	23	14.823,0	15.243,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	24	14.837,0	15.257,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	25	14.851,0	15.271,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	26	14.865,0	15.285,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	27	14.879,0	15.299,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	28	14.893,0	15.313,0	14MHz
PDH	15GHz	8x2	29	14.907,0	15.327,0	14MHz

Fonte:NEC, 2009

Para escolher a canalização correta é preciso consultar a Anatel para saber quais canais já estão ocupados na região do enlace.

Assim, têm-se as seguintes informações obtidas no sistema STEL da Anatel, para o site Caxias do Sul e Farroupilha:

Ministério das Comunicações Destaque do Governo

ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações

Sistemas Interativos

STEL >>> Consultas >>> Freqüências >>> **Lista Freqüências por Área (216)** menu ajuda

Tela Inicial Resultado da Consulta

Lista Freqüências por Área

Resultado da Consulta

Demonstrativo de Ocupação de Freqüências

Latitude: 29095500 S Longitude: 51094800 W Raio: 2

Opção A2: Faixa de :14500 MHz a 15500 MHz

Distância em Km

Freqüência(s)

Freqüência	Tipo	Situação	D05	D10	D20	D30	ML	D40	D60	D100	D150	D200	DRAIO	ML	Serviços
14,50800000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	175
	RX	Autorizada	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	175
14,51500000 GHz	TX	Estudo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	175
	RX	Estudo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175
14,51850000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	175
	RX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175
14,52200000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	019
	RX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	019
14,52900000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	053
	RX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	053
14,53600000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	046
	RX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	046
14,54300000 GHz	TX	Estudo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175
	RX	Estudo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	175
14,55000000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	046
	RX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	046
14,55700000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	053
	RX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	053
14,56400000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	053
	RX	Autorizada	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	053
14,57100000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	175
	RX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175
14,59200000 GHz	TX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	027
	RX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	027
14,60250000 GHz	TX	Autorizada	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	175
	RX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175
14,62000000 GHz	TX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	046
	RX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	046
14,66900000 GHz	TX	Autorizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	046
	RX	Autorizada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	046

Usuário: - Data: 08/11/2009 Hora: 13:27:07

Registro 1 até 15 de 44 registros

Páginas: [1] 2 3 [Ir] [Reg]

Tela Inicial Imprimir Exportar Excel

Figura 34 – Informações sobre freqüências já utilizadas na região da estação Caxias do Sul

Fonte: Anatel

Analisando as freqüências disponíveis na região, finalmente define-se o canal específico a ser utilizado no enlace projetado entre os canais disponíveis, como demonstrados na Figura 33.

Neste caso, o canal a ser utilizado será o canal 29, que define as seguintes frequências:

- Frequência Baixa: 14.907 MHz
- Frequência Alta: 15.327 MHz

Desta forma, o projeto do radioenlace tem fim. A próxima etapa seria executar o projeto, fazendo visada em campo e a posterior instalação dos equipamentos nas estações definidas. Caso as estações ainda não existam, as mesmas devem ser construídas. Em seguida, constroem-se as torres e finalmente são instalados os equipamentos (antenas, rádio, mux e etc.).

7. CONCLUSÕES

Como explanado ao longo deste documento, a necessidade de sistemas de comunicação através de rádios ponto a ponto, na faixa de microondas, é uma realidade, sendo esta a base dos sistemas de transmissão de empresas de telecomunicações.

Assim, através da teoria e das ferramentas auxiliares descritas neste trabalho, é possível projetar e dimensionar estes sistemas, de maneira simplificada e eficiente.

A união de ferramentas como softwares específicos, métodos manuais e as planilhas desenvolvidas, faz do projeto de radioenlaces um processo mais enxuto e rápido.

Analisando os resultados obtidos entre os softwares e as planilhas aqui desenvolvidas, através de uma comparação direta, percebe-se que simplesmente levantando um perfil e utilizando uma planilha de cálculo já é possível projetar sistemas rádio ponto a ponto com precisão aceitável.

É importante salientar que em cada caso, existem particularidades que devem ser levadas em conta, como atenuações adicionais ou mesmo algum objeto dentro do primeiro elipsóide de Fresnel.

Mas, de maneira geral, uma vez cumpridas as restrições descritas neste documento, o método de cálculo aqui apresentado é suficiente para o correto dimensionamento de radioenlaces ponto a ponto, na faixa de microondas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCATEL. **Curso de Sistemas Rádio**. São Paulo: Alcatel University, 2004.

ANATEL. Disponível em <<http://anatel.gov.br>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

ANDREW. Disponível em <<http://awapps.commscope.com>>. Acesso em 03 out. 2009.

BROADBAND BUYER. Disponível em <www.broadbandbuyer.co.uk/> Acesso em 15 out 2009.

CONTEL. Disponível em <www.contel.com.br>. Acesso em 03 out. 2009.

DUUREN, Jan van; KASTELEIN, Peter; SCHOUTE, Frits C.. **Fixed and Mobile Telecommunications**. Harlow: Addison-Wesley, 1996.

e-FÍSICA. Disponível em <efisica.if.usp.br>. Acesso em 15 out 2009.

ERICSSON. Disponível em <<http://www.ericsson.com/br/>>. Acesso em 14 nov. 2009.

FELICE, Fernando. **Análise do Desempenho de Enlaces Ponto a Ponto Utilizando a Faixa de Frequência Não Licenciada de 2,4 GHz em Tecnologia Spread Spectrum**. Curitiba: UFPR – Universidade Federal do Paraná, 2005.

GENERAL ELETRIC. **VHF And UHF Propagation**. Lynchburg, 1962.

ITU – UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Disponível em <<http://www.itu.int>>. Acesso em: 10 set. 2009.

LEON W, Couch, II. **Digital And Analog Communication Systems**. Prentice-Hall, 2007.

MIYOSHI, Edson Mitsugo; SANCHES, Carlos Alberto. **Projetos de Sistemas Rádio**. São Paulo: Érica, 2008.

MSPC. Disponível em < www.mspc.eng.br>. Acesso em 15 out 2009.

NEC. **Treinamento Técnico – Engenharia de Sistemas Rádio E&S**. São Paulo: Univerge, 2009.

RADIO MOBILE. Disponível em <<http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel>>. Acesso em: 08 nov. 2009.

SIEMENS. **Curso de Planejamento de Enlaces Rádio**. São Paulo, 1999.

SIGAnatel. Disponível em <<http://sistemas.anatel.gov.br/siganatelt>>. Acesso em: 08 nov. 2009.

SONET / SDH's Blog. Disponível em: <sonetsdh.wordpress.com>. Acesso em 23 set. 2009.

TELECO. Disponível em: <www.teleco.com.br>. Acesso em: 10 set. 2009.

WIRELESS BRASIL. Disponível em < www.wirelessbrasil.org>. Acesso em 15 out 2009.