

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THEOMA MURIEL SANCHES OTOBO

Avaliação de Desempenho de Sistemas de Transmissão ponto multiponto
através de Análise de Estudo de Caso.

CURITIBA
2014

THEOMA MURIEL SANCHES OTOBO

Avaliação de Desempenho de Sistemas de Transmissão ponto multiponto
através de Análise de Estudo de Caso.

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em
Telecomunicações, Departamento de Engenharia
Elétrica. Universidade Federal do Paraná, como parte
das exigências para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Ph.D Horácio Tertuliano Filho

CURITIBA
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

O88a Otobo, Theoma Muriel Sanches
Avaliação de desempenho de sistemas de transmissão ponto multiponto
através de análise de estudo de caso / Theoma Muriel Sanches Otobo. –
Curitiba, 2014.
132f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, 2014.

Orientador: Horácio Tertuliano Filho .
Bibliografia: p. 21-22; 29-30; 37-39; 72-73; 125-126

1. Energia elétrica - Transmissão - Legislação. 2. Ruído elétrico. 3.
Confiabilidade (Engenharia). I. Universidade Federal do Paraná. II. Tertuliano
Filho, Horácio. III. Título.

CDD: 621.85

TERMO DE APROVAÇÃO

THEOMA OTOBO

ATA DE DEFESA DE MESTRADO

Aos seis dias do mês de novembro de 2014, na Sala PK 07 do Departamento de Engenharia Elétrica, foi instalada pela Prof.ª Dr.ª Thelma Solange Piazza Fernandes, Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, a Banca Examinadora para a centésima sexagésima Dissertação de Mestrado do PPGEE, na Área de Concentração em **TELECOMUNICAÇÕES**. Estiveram presentes no ato, além da Coordenadora do Curso de Pós-Graduação, professores, alunos e visitantes.

A Banca Examinadora, atendendo determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, ficou constituída pelos professores doutores **Horácio Tertuliano dos Santos Filho (Orientador - UFPR); Carlos Estevão Rolim Fernandes (UFC); André Augusto Mariano (UFPR) e Luis Henrique de Assumpção Lolis (UFPR).**

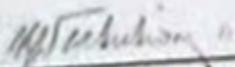
Às 09:30 horas, a banca iniciou os trabalhos, convidando a candidata **THEOMA MURIEL SANCHES OTOBO** a fazer a apresentação da dissertação intitulada **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE TRANSMISSÃO PONTO-MULTIPONTO ATRAVÉS DE ANÁLISE DE ESTUDO DE CASO**. Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes.

Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela:

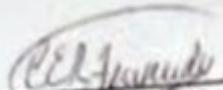
APROVAÇÃO

NÃO APROVAÇÃO do candidato, (de acordo com a determinação da Resolução 63/03-CEPE).

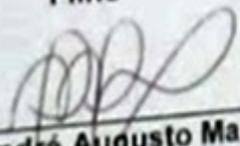
Curitiba, 06 de novembro 2014.



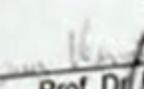
Prof. Dr. Horácio Tertuliano dos Santos
Filho



Prof. Dr. Carlos Estevão Rolim
Fernandes



Prof. Dr. André Augusto Mariano



Prof. Dr. Luis Henrique de
Assumpção Lolis



DEDICATÓRIA

Dedico este mestrado primeiramente a minha querida avó Dorothe, que já não esta mais entre nós, pelo menos fisicamente, aos meus queridos pais Alex Ogaranya Otobo e Scheherazade Dorothy Sanches Otobo, ao meu irmão Chidy Henry Sanches Otobo, ao meu tio Gregory Sanches e ao meu querido avô Jan Benjamin Sanches pelo incentivo e apoio em todas as minhas escolhas e decisões. Estendo também meus agradecimentos a todos os meus amigos que torceram por mim.

A vitória dessa conquista dedico com todo o meu amor, unicamente, a vocês!
parabéns!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, por esta sempre ao meu lado me guiando e me protegendo de todas coisas que não são da sua vontade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Horácio Tertuliano Filho, pelo acompanhamento, orientação e amizade.

Ao Curso de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica, do Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio recebido.

Ao Colegiado do Curso de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica, pela compreensão aos momentos difíceis.

Aos Professores Dr. Carlos Estevão Rolim Fernandes, Dr. Andre Augusto Mariano e Dr. Luis Henrique de Assumpção Lolis, pelas contribuições e sugestões no trabalho.

A secretária Maria Raquel Forte , por estar sempre pronta a cooperar.

Aos meus colegas de Laboratório de Telecomunicações pela oportunidade da convivência, meu muito obrigada.

.

Resumo

O problema do desempenho de um sistema de transmissão que se traduz pela qualidade da QoS (eficiência x confiabilidade x disponibilidade) do sistema é um dos fatores que mais demanda esforços da engenharia para ser atendido. A eficiência neste cenário se caracteriza como sendo uma combinação entre o uso do espectro de frequência (serviços) e as suas respectivas legislações vigentes que o permeiam. A confiabilidade se traduz pela perfeita geometria dos elementos constitutivos do ambiente de transmissão, e finalmente a disponibilidade está associada ao limite de falhas permitido para o sistema em operação. A proposta inovadora desse trabalho de mestrado foi o de oferecer uma rigorosa conjugação destes fatores no processo de concepção de um sistema de transmissão multiponto e multicanal em absoluta consonância com a legislação nacional e internacional vigente de modo a se obter, através de uma metodologia inédita, dados de QoS mínimos exigidos pela agência reguladora dos serviços de telecomunicações do Brasil para sistemas operando na faixa de 3,5 GHz atualmente em fase de padronização no Brasil, 5 GHz e 8,5 GHz.

Palavras-Chave: Sistema de Transmissão, Ruído, Legislação e Confiabilidade.

ABSTRACT

The problem of the performance of a transmission system which translates the quality of QoS (efficiency x reliability x availability) for one transmission system is one of the factors that most demand engineering efforts to be served. The efficiency in this scenario is characterized as being a combination between the use of the frequency spectrum (services) and their respective legislation existing that permeate. The reliability translates the perfect geometry of the constituent elements of environment of transmission. The availability is associated with limit failures allowed for the system in operation. The innovative approach of this Master Thesis is rigorous conjugation these factors in the process of designing a transmission system and multichannel in multipoint order to obtain QoS data minimum required by the regulator of telecommunications services in Brazil for systems operating in the 3.5 GHz band currently under standardization in Brazil, 5 GHz e 8,5 GHz.

Keywords— System of Transmission; Noise; Legislation; Reliability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO PONTO – MULTIPONTO DE ESTAÇÕES FIXAS.	19
FIGURA 2 – EVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÕES BRASILEIRA.	31
FIGURA 3 – FUNÇÕES EXERCIDAS PELA ITU.....	33
FIGURA 4 – FASES DE ANÁLISE DO SISTEMA.	40
FIGURA 5 – DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE GEOMETRIA DO SISTEMA.	40
FIGURA 6 – DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE FREQUÊNCIA DO SISTEMA.....	41
FIGURA 7– DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE POTÊNCIA DO SISTEMA.	41
FIGURA 8 – DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE RUÍDO DO SISTEMA.	42
FIGURA 9 – DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA.	42
FIGURA 10 – DETERMINAÇÃO DA LATITUDE DE UM PONTO.	44
FIGURA 11– DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE DE UM PONTO.....	45
FIGURA 12 – CANALIZAÇÃO SEM DIVERSIDADE DE POLARIZAÇÃO.....	48
FIGURA 13 – CANALIZAÇÃO COM DIVERSIDADE DE POLARIZAÇÃO.....	49
FIGURA 14 – CANALIZAÇÃO COM REUSO INTERSTICIAL E DIVERSIDADE DE POLARIZAÇÃO.....	49
FIGURA 15 – CANALIZAÇÃO COM REUSO DE FREQUÊNCIA E DIVERSIDADE DE POLARIZAÇÃO.....	50
FIGURA 16 – ELEMENTOS DO CÁLCULO DA ALTURA DE TORRE.....	51
FIGURA 17 – PANORAMA ATUAL DOS SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÕES EM CURITIBA.....	75
FIGURA 18 – FLUXOGRAMA PARA PROJETO DE SISTEMAS DE TRANSMISSÃO.	77
FIGURA 19 – DIAGRAMA DE REDES.....	84
FIGURA 20 – POLIGONAL DA ROTA PARA OS TRECHOS CP01-M02 E CP01-C03.	85
FIGURA 21 – O POLIGONAL DA ROTA PARA OS TRECHOS CP01- SLP04 E M02 – C03.....	85
FIGURA 22 – POLIGONAL DA ROTA PARA OS TRECHOS M02-SLP04 E C03 –SLP04.....	86
FIGURA 23 – ILUSTRAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES UTILIZANDO A FERRAMENTA GOOGLE EARTH.	87
FIGURA 24 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES UTILIZANDO A FERRAMENTA <i>MATLAB</i> ®.....	87
FIGURA 25 – GRÁFICO DOS PERFIS DO TERRENO PARA O <i>LINK</i> CP-M E PARA O <i>LINK</i> CP-C.....	88
FIGURA 26 – GRÁFICO DOS PERFIS DO TERRENO PARA O <i>LINK</i> CP-SLP E PARA O <i>LINK</i> M-C.	88
FIGURA 27 – GRÁFICO DOS PERFIS DO TERRENO PARA O <i>LINK</i> M-SLP E PARA O <i>LINK</i> C-SLP.	88
FIGURA 28 – PROPOSTA DE DISPOSIÇÃO DE CANAIS PARA FREQUÊNCIA DE 3.5 GHz.....	90
FIGURA 29 – REPRESENTA A ANÁLISE DO RUÍDO DEVIDO À POLARIZAÇÃO PARALELA.....	108
FIGURA 30 – REPRESENTA A ANÁLISE DO RUÍDO DEVIDO À POLARIZAÇÃO CRUZADA	109
FIGURA 31 – REFERENTE AO <i>LINK</i> CP01-M02 EM RELAÇÃO À FREQUÊNCIA DE 3,5 GHz.....	120
FIGURA 32 – REFERENTE AO <i>LINK</i> CP01-M02 EM RELAÇÃO A FREQUÊNCIA DE 5 GHz.....	123
FIGURA 33 – REFERENTE AO <i>LINK</i> CP01-M02 EM RELAÇÃO À FREQUÊNCIA DE 8,5 GHz.....	124

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ATENUAÇÃO TOTAL PARA NO <i>LINK</i> CP01-M02 NAS TRÊS FREQUÊNCIAS.....	95
GRÁFICO 2 – ATENUAÇÃO TOTAL PARA NO <i>LINK</i> M02-C03 NAS TRÊS FREQUÊNCIAS.....	96
GRÁFICO 3 – ATENUAÇÃO TOTAL PARA NO <i>LINK</i> C03-SLP04 NAS TRÊS FREQUÊNCIAS.....	97
GRÁFICO 4 – REFERENTES À MARGEM DE DESVANECIMENTO – LIMAR MÁXIMO.....	103
GRÁFICO 5 – REFERENTES À MARGEM DE DESVANECIMENTO – LIMAR MÁXIMO.....	103
GRÁFICO 6 – REFERENTES À MARGEM DE DESVANECIMENTO – LIMAR MÁXIMO.....	104
GRÁFICO 7 – RUÍDO TOTAL PARA 50% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS PARA	110
GRÁFICO 8 – RUÍDO TOTAL PARA 50% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS.....	110
GRÁFICO 9 – RUÍDO TOTAL PARA 50% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS K=IDEAL	110
GRÁFICO 10 – RUÍDO TOTAL PARA 80% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS PARA	111
.GRÁFICO 11 – RUÍDO TOTAL PARA 80% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS.....	111
GRÁFICO 12 – RUÍDO TOTAL PARA 80% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS K=IDEAL	111
GRÁFICO 13 – REFERENTE À CONFIABILIDADE FINAL DO SISTEMA – $K=4/3$	117
GRÁFICO 14 – REFERENTE À CONFIABILIDADE FINAL DO SISTEMA – K=MÍNIMO.....	118
GRÁFICO 15 – REFERENTE À CONFIABILIDADE FINAL DO SISTEMA – K=IDEAL	118

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - PRINCIPAIS NORMATIZAÇÕES APLICADAS A PROJETOS DE RADIO ENLACE.....	35
TABELA 2 – SÍNTESE DAS PRINCIPAIS NORMATIZAÇÕES RESPECTIVA A CADA FREQUÊNCIA.	36
TABELA 3 – VARIAÇÕES DO VALOR DE K.	53
TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS DO ENLACE.....	54
TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DOS CABOS DO ENLACE.....	55
TABELA 6 – TIPOS DE CONECTORES.	55
TABELA 7 – DESTAQUE DOS LIMIARES DE RECEPÇÃO A SEREM CONSIDERADO	59
TABELA 8 – RELAÇÃO ENTRE A FATOR DE RUÍDO E A TEMPERATURA.....	62
TABELA 9 – USO DO ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	75
TABELA 10 – DESCRIÇÃO DO FLUXOGRAMA.	78
TABELA 11 – DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO Á GEOMETRIA DO SISTEMA.....	78
TABELA 12 – DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO Á FREQUÊNCIA E PROPAGAÇÃO.....	78
TABELA 13 – DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO Á POTÊNCIA DO SISTEMA.....	79
TABELA 14 – DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO AO RUÍDO SISTEMA.....	79
TABELA 15 – DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO Á CONFIABILIDADE SISTEMA.....	79
TABELA 16 – LEGISLAÇÃO VIGENTE.....	80
TABELA 17 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES.	82
TABELA 18 – RESULTADO DAS DISTÂNCIAS DOS <i>LINKS</i>	83
TABELA 19 – RESULTADO DAS ALTITUDES DO TERRENO.	83
TABELA 20 – RESULTADO DOS AZIMUTES DOS <i>LINKS</i>	84
TABELA 21 – RESULTADO DO ÂNGULO DE ELEVAÇÃO DAS ESTAÇÕES.	85
TABELA 22 – RESULTADO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA DA ONDA DAS RESPECTIVAS	86
TABELA 23 – DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS REFERENTES À DISPOSIÇÃO DOS CANAIS	89
TABELA 24 – RESULTADO DAS RESPECTIVAS ALTURAS DE TORRE PARA AS TRÊS FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO.	90
TABELA 25 – RESULTADO DAS ALTURAS DE TORRE PARA CONSIDERANDO REPETIDORAS EM SEU TRAJETO.	91
TABELA 26 – RESULTADO DAS PERDAS DEVIDO AO CABO CONSIDERANDO AS RESPECTIVAS	92
TABELA 27 – RESULTADO DA ATENUAÇÃO DO ESPAÇO LIVRE REFERENTE AOS SEIS <i>LINKS</i>	93
TABELA 28 – RESULTADO DA PERDA DE TRANSMISSÃO REFERENTE AOS SEIS <i>LINKS</i>	93
TABELA 29 – RESULTADO DA ATENUAÇÃO DEVIDO AOS GASES ATMOSFÉRICOS.	94
TABELA 30 – RESULTADO DA ATENUAÇÃO DEVIDO A CHUVA REFERENTE AOS SEIS <i>LINKS</i>	94
TABELA 31 – RESULTADO DA ATENUAÇÃO TOTAL DE CADA <i>LINK</i> PARA TODAS FREQUÊNCIAS DE ANÁLISE	95
TABELA 32 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES À ÁREA DE ASSINATURA.	98
TABELA 33 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES AO DFM.....	98
TABELA 34 – VALORES REFERENTES A POTÊNCIA TRANSMITIDA PARA CADA FREQUÊNCIA.....	99
TABELA 35 – RESULTADO REFERENTE AO EIRP NAS TRÊS FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO.....	99

TABELA 36 – RESULTADO DO NÍVEL DE RECEPÇÃO PARA CADA LINK EM TODAS AS FREQUÊNCIA.	100
TABELA 37 – RESULTADO DA MARGEM DE DESVANECIMENTO PARA FREQUÊNCIA DE 3,5 GHz.....	101
TABELA 38 – RESULTADO DA MARGEM DE DESVANECIMENTO PARA FREQUÊNCIA DE 5 GHz.....	102
TABELA 39 – RESULTADO DA MARGEM DE DESVANECIMENTO PARA FREQUÊNCIA DE 8,5 GHz.....	102
TABELA 40 – MARGEM DE DESVANECIMENTO POR INTERFERÊNCIA NA FREQUÊNCIA DE 3,5 GHz.....	104
TABELA 41 – MARGEM DE DESVANECIMENTO POR INTERFERÊNCIA NA FREQUÊNCIA DE 5 GHz.....	105
TABELA 42 – MARGEM DE DESVANECIMENTO POR INTERFERÊNCIA NA FREQUÊNCIA DE 8,5 GHz.....	105
TABELA 43 – RESULTADOS REFERENTES AO RUÍDO TÉRMICO PRESENTE NOS LINKS.....	106
TABELA 44 –RESULTADO DA CONTRIBUIÇÃO DO RUÍDO PARA 50% DO TEMPO EM TODAS AS FREQUÊNCIAS.	106
TABELA 45– RESULTADO DA CONTRIBUIÇÃO DO RUÍDO PARA 80% DO TEMPO EM TODAS AS FREQUÊNCIAS.	106
TABELA 46 – RESULTADO REFERENTE AO RUÍDO DE ECO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS.	107
TABELA 47 – RESULTADO REFERENTE AO RPP PARA TODOS OS <i>LINKS</i> PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS.	108
TABELA 48 – RESULTADO REFERENTE AO RPP PARA TODOS OS <i>LINKS</i> PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS.	109
TABELA 49 – RESULTADOS ENCONTRADOS REFERENTES AO VALOR DE SISTEMA DOS <i>LINKS</i>	113
TABELA 50 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES À ESTIMATIVA DE PROBABILIDADE DE INOPERÂNCIA.....	114
TABELA 51 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES Á TODOS OS LINKS.....	114
TABELA 52 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES Á TODOS OS LINKS.....	114
TABELA 53– RESULTADOS DÀ PROBABILIDADE DO PERÍODO DE INOPERÂNCIA EM MINUTOS POR ANO.	115
TABELA 54 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES À PORCENTAGEM DE TEMPO EM OPERAÇÃO.....	115
TABELA 55 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES À PORCENTAGEM COM FALHAS NO EQUIPAMENTO.	116
TABELA 56 – RESULTADOS DO TEMPO TOTAL DE INTERRUPÇÃO DEVIDO À FALHA DO EQUIPAMENTO.....	116
TABELA 57 – PORCENTAGEM DO TEMPO TOTAL DE INTERRUPÇÃO DEVIDO À FALHA DO EQUIPAMENTO.....	116
TABELA 58 – RESULTADOS DA INDISPONIBILIDADE DO SISTEMA DEVIDO EFEITOS DE PROPAGAÇÃO.	117
TABELA 59 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES INDISPONIBILIDADE TOTAL DO SISTEMA.....	117
TABELA 60 – RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES DISPONIBILIDADE TOTAL DO SISTEMA.	117

LISTA DE SIGLAS

ANATEL – Agência Nacional das Telecomunicações

ETSI – European Telecommunications Standards Institute

ITU – União Internacional de Telecomunicações

CP01 – Primeira Estação definida como Centro Politécnico

M02 – Segunda Estação definida como Mercês

C03 – Terceira Estação definida como Colombo

SLP04 – Quarta Estação definida como São Luis do Purunã

Lat – Latitude

Long – Longitude

Δ – Distância Ortodrômica dado em graus

A_c – Perda no Cabo

A_e – Perda no espaço Livre

L_0 – Perda por Transmissão

A_{ab} – Perda por Absorção de Gases

LS – Atenuação Total Líquida

P_t – Potência Transmitida

P_r – Potência Recebida

MD – Margem de Desvanecimento

e.i.r.p – Potência Isotrópica Efetivamente Irradiada

MDI – Margem de Desvanecimento por Interferência

S_w – Área de Assinatura

DFM – Margem de desvanecimento Dispersivo

FR – Figura de Ruído

VS – Valor de Sistema

B – Largura de Banda

RT – Ruído Térmico

$pW0p$ – Subunidade usada para Medições de Ruído no Equipamento

λ – Comprimento de Onda

C/N – Relação Portadora Ruído

T_s – Temperatura Equivalente do Sistema

RIPP – Ruído Interferente devido a Polarização Paralela

RIPC – Ruído Interferente devido a Polarização Cruzada

K – Inoperância do Sistema

P_{ns} – Probabilidade de Inoperância em razão do Desvanecimento Não Seletivo

P_s – Probabilidade de Inoperância em razão do Desvanecimento Seletivo

I_M - Probabilidade do Período de Inoperância Total em Minutos por Ano

P_{op} – Porcentagem de Tempo de Operação

F – Porcentagem de Tempo com Falhas no Equipamento

t – Tempo Total de Interrupção devido a Falha de Equipamentos

I_e – Indisponibilidade do Sistema devido a Falha nos Equipamentos

I_{TOTAL} – Indisponibilidade Total do sistema

C – Confiabilidade Final do Sistema

S/R – Relação Sinal Ruído

S/Ne – Ruído de eco

Sistema Wireless – Sistema Sem – fio

Link – Enlace

Marketing – Negócios

VHF – *Very High Frequency*

UHF – *Ultra High Frequency*

SHF – *Super high frequency*

Virtual Private Network (VPN) – Rede Privada Virtual

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. MOTIVAÇÃO	18
1.2. METODOLOGIA.....	19
1.3. OBJETIVOS DO TRABALHO	20
1.4. DESCRIÇÃO DOS DEMAIS CAPÍTULOS	20
1.5. REFERÊNCIAS.....	21
CAPÍTULO 2. PARÂMETROS QUE ENLOBAM UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	23
2.1. INTRODUÇÃO	23
2.2. PLANO DE NEGÓCIOS.....	23
2.3. PLANO FINANCEIRO	24
2.4. PLANO LEGISLATIVO.....	25
2.5. PLANO DE ENGENHARIA	26
2.5.1. Plano Macroscópico (Objetivos Gerais)	27
2.5.2. Plano Microscópico (Objetivos Específicos)	28
2.6. CONCLUSÃO	29
2.7. REFERÊNCIAS.....	29
CAPÍTULO 3. LEGISLAÇÃO VIGENTE.....	31
3.1. INTRODUÇÃO	31
3.2. AGÊNCIAS REGULADORAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS.....	31
3.2.1. Anatel	32
3.2.2. Agências e Padrões Internacionais.....	32
3.3. NORMATIZAÇÃO APLICADA A PROJETOS DE RÁDIO ENLACE	33
3.4. AS FAIXAS DE FREQUÊNCIA 3,5 GHz, 5 GHz e 8,5 GHz	35
3.5. CONCLUSÃO	37
3.6. REFERÊNCIAS.....	37
CAPÍTULO 4. CONCEPÇÃO DE RÁDIO ENLACE	39
4.1. INTRODUÇÃO	39
4.2. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO	39
4.3. PLANO DE ENGENHARIA DE CONCEPÇÃO.....	42
4.4. PARÂMETROS DE GEOMETRIA.....	44
4.5. PARÂMETROS DE FREQUÊNCIA E PROPAGAÇÃO	47
4.6. PARÂMETROS DE POTÊNCIA	59
4.7. PARÂMETROS DE RUÍDO	61
4.8. PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE	67
4.9. CONCLUSÃO	71
4.10. REFERÊNCIAS	72
CAPÍTULO 5. ESTUDO DE CASO	74
5.1. INTRODUÇÃO	74
5.2. ESTUDO DE CASO BASEADO EM FAIXAS DE FREQUÊNCIA LICENCIADAS.....	74
5.3. PRIMEIRA ETAPA DE CONCEPÇÃO	76
5.3.1. Descrição do Fluxograma	78
5.4. SEGUNDA ETAPA DE CONCEPÇÃO	79
5.4.1. Determinação da Legislação Vigente	80
5.5. DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DESEJADAS	80
5.6. DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES.....	82
5.7. DETERMINAÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS ENLACE.....	83
5.8. DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES DOS TERRENOS	83
5.9. DEFINIÇÃO DO DIAGRAMA DE LIGAÇÃO DE REDE	84

5.10	DETERMINAÇÃO DOS AZIMUTES	84
5.11	DETERMINAÇÃO DOS ÂNGULOS DE ELEVAÇÃO	85
5.12	DETERMINAÇÃO DO POLIGONAL DE ROTA.....	85
5.13	DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA DA ONDA	86
5.14	ANÁLISE GRÁFICA	86
5.15	DETERMINAÇÃO DAS DISPOSIÇÕES DE CANAIS	89
5.16	DEFINIÇÃO DA ALTURA DE TORRE	90
5.17	DETERMINAÇÃO DAS PERDAS DEVIDO AO CABO	91
5.18	RESULTADO DAS ATENUAÇÕES DO ESPAÇO LIVRE	93
5.19	DETERMINAÇÃO DAS PERDAS POR TRANSMISSÃO	93
5.20	RESULTADO DAS ATENUAÇÕES DEVIDO AOS GASES ATMOSFÉRICOS	94
5.21	RESULTADO DAS ATENUAÇÕES DEVIDO A CHUVA	94
5.22	DETERMINAÇÃO DAS ATENUAÇÕES LÍQUIDAS	94
5.22.1	Análise Gráfica.....	95
5.23	DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE ASSINATURA	97
5.24	DETERMINAÇÃO DAS MARGENS DE DESVANECIMENTO DISPERSIVOS.....	98
5.25	RESULTADOS CALCULADOS DO EIRP.....	98
5.26	DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE RECEPÇÃO	100
5.27	RESULTADO DAS MARGENS DE DESVANECIMENTO	100
5.27.1	Análise Gráfica.....	103
5.28	DETERMINAÇÃO DAS MARGENS DE DESVANECIMENTO POR INTERFERÊNCIA	104
5.29	RESULTADO REFERENTES AO RUÍDO TÉRMICO	105
5.30	RESULTADOS CALCULADOS PARA O RUÍDO DE ECO	107
5.31	RESULTADOS DO RUÍDO INTERFERENTE DEVIDO A POLARIZAÇÃO PARALELA.....	107
5.32	RESULTADOS DO RUÍDO INTERFERENTE DEVIDO A POLARIZAÇÃO CRUZADA	108
5.33	Determinação do Ruído Total do Sistema.....	109
5.34	DETERMINAÇÃO DO VALOR DE SISTEMA.....	113
5.35	RESULTADOS REFERENTES À INOPERÂNCIA DO SISTEMA	113
5.35.1	Determinação da Porcentagem do Tempo em Operação	115
5.36	RESULTADO DOS PARÂMETROS REFERENTES À CONFIABILIDADE	116
5.37	DIAGRAMA DE NÍVEIS DE SINAIS.....	119
5.38	CONCLUSÃO	125
5.39	REFERÊNCIAS.....	125
CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		127
6.1	CONCLUSÃO	127
6.2	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	128
ANEXO 1.....		129
ANEXO 2.....		130
ANEXO 3.....		131
ANEXO 4.....		132

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Atualmente nota-se que o crescimento do acesso à internet por pessoas físicas e jurídicas através da banda larga verificado nos últimos anos. Além das tecnologias já consolidadas para tal fim, os sistemas *wireless* deram sua contribuição, através do acesso ponto-a-ponto na utilização em redes básicas e sistemas ponto-multiponto que é o mais usado em sistemas mais complexos [1,3].

Baseando-se no que foi precedentemente descrito em relação aos principais pontos marcantes que constituíram a história das telecomunicações, pode-se concluir que o universo das telecomunicações hoje é considerado como um processo de contínuas mudanças inovadoras, cujas expectativas atuais almejam garantir cada vez mais a qualidade, mobilidade e a segurança na transmissão de informação (dados, voz, imagens etc.), [2].

Visando assegurar este objetivo, órgãos nacionais e internacionais foram criados com a designação de coordenar e garantir um melhor uso dos serviços de telecomunicações. Destaca-se então [4]:

- **Comissão Federal de Comunicação (FCC):** Representa o órgão regulador dos serviços de telecomunicações e radiodifusão nos EUA;
- **Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM):** Representa o órgão regulador e supervisor dos setores de comunicações eletrônicas de Portugal;
- **Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL):** Representa o órgão que Regulamenta, outorga e fiscaliza os serviços de telecomunicações no Brasil;
- **União Internacional de Telecomunicações (ITU):** Representa o órgão responsável por coordenar as padronizações das telecomunicações em âmbito mundial.

Vale ressaltar que há uma forte tendência da entidade nacional de normatização de adotar normas internacionais integralmente para vigorar nacionalmente, isso ocorre por um simples motivo que é desenvolver as telecomunicações de forma uniforme.

As normas vigentes que regulamentam um sistema de telecomunicação são representadas através de decretos, súmulas, portarias, leis, notas técnicas e resoluções. No Brasil após o processo de privatização do setor de telecomunicações

ocorrido em 1995 e da criação da ANATEL em 1997 o mercado produtivo vem sendo controlado basicamente com normas do antigo DENTEL – **Departamento Nacional de Telecomunicações** extinto juntamente com o Sistema Telebrás. As práticas atualmente utilizadas então, ou são antigas ou são atualizadas para atendimento de um novo serviço [4]. Logo, para implantação de um sistema de transmissão torna-se necessário não só o cumprimento de toda uma série de procedimentos metodológicos (análises relacionadas a eficiência, confiabilidade e disponibilidade de um sistema de transmissão) que levam em conta parâmetros que possam vir a prejudicar a qualidade a do sinal, mas também, e, sobretudo, uma rigorosa aplicação da legislação vigente tanto em seus aspectos nacionais como internacionais.

1.1. MOTIVAÇÃO

Muito se escreve a respeito do processo de concepção de um sistema de comunicação (seja ele para enlaces não licenciados, como para os licenciados), considerando os diferentes tipos de modulação, as taxas de transmissão assim como os possíveis serviços nele transportados. No entanto, a operacionalização das etapas de concepção para o sistema de transmissão (que representa a base fundamental para que a comunicação possa existir futuramente) possui pouca bibliografia acerca do tema, dificultando dessa forma o entendimento macro do funcionamento de um sistema de transmissão, bem como fundamentalmente uma análise sobre a confiabilidade e robustez do sistema.

Foi realizada uma pesquisa sobre trabalhos que poderiam servir de base bibliográfica para o desenvolvimento desse tema e, trabalhos como ao do autor [5], que desenvolveu um sistema de radio acesso sem fio baseado na tecnologia LTE-450 considerando diferenças entre as características de propagação quando o sistema se encontra em uma zona rural ou urbana. Assim como o trabalho desenvolvido em [6], que em linhas gerais teve por objetivo quantificar a atenuação meteorológica imposta a sistemas de comunicações, via rádio operando na faixa SHF. Como também as pesquisas realizadas em [7,8] onde ambos desenvolvem metodologias que evidenciam pontos relevantes de um sistema de transmissão operando na faixa de segurança pública.

A motivação de se desenvolver este tema partiu da ideia de se analisar projetos de sistemas de transmissão com uma precisão mais detalhada destes três aspectos considerados como fundamentais (confiabilidade, disponibilidade e eficiência espectral). Visando entender dessa forma, quais e como seriam os principais procedimentos relevantes que constitui o processo de funcionamento (inicial) do mesmo.

1.2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho contemplou implementação de uma planilha eletrônica onde a base teórica se fundamentou através da literatura específica que ajudassem a responder as questões levantadas na problemática do tema em estudo. Esta pesquisa possui caráter exploratório onde a mesma se faz através da análise de um cenário proposto.

O estudo de caso proposto foi a simulação de um cenário de geração de um sinal em três frequências cujo critério de escolha da mesma partiu do princípio da verificação do uso do espectro de radiofrequência na região metropolitana de Curitiba em função da demanda de serviços e quantidade de usuários por canal em relação às frequências mais utilizadas do espectro rádio elétrico na cidade de Curitiba (3,5 GHz, 5 GHz e 8,5 GHz) segundo informação da ANATEL [9], [10] e [11]. Do exposto a Figura 1, ilustra o sistema de transmissão que será estudado neste trabalho:

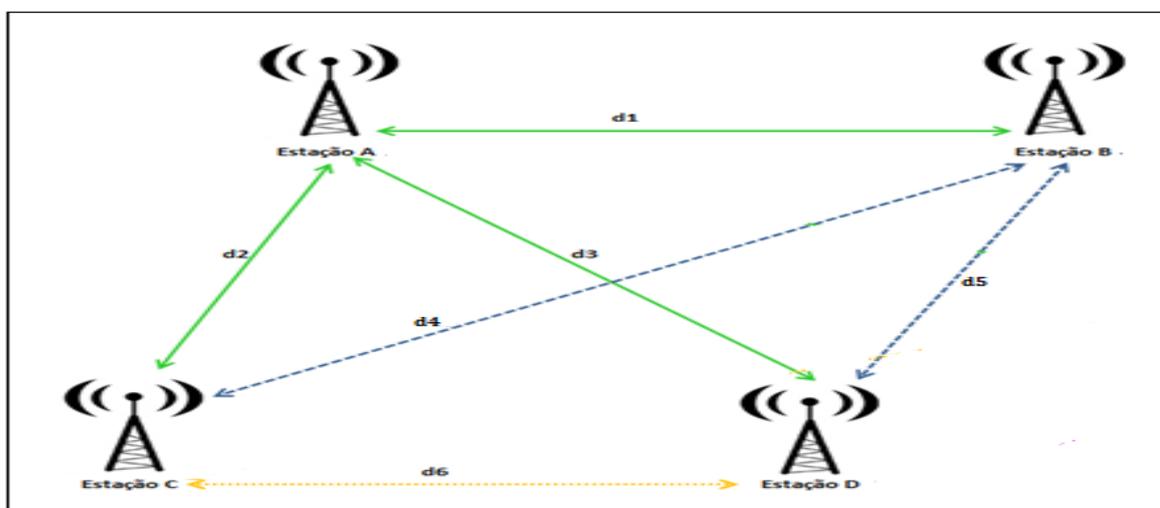


FIGURA 1 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO PONTO – MULTIPONTO DE ESTAÇÕES FIXAS.
FONTE: AUTORA.

1.3. OBJETIVOS DO TRABALHO

Objetivo Geral – Oferecer um método de desenvolvimento de um sistema de transmissão que incorpore e descreva os procedimentos considerados fundamentais para uma premissa de funcionamento.

Objetivos Específicos:

- Desenvolvimento de uma Planilha Eletrônica;
- Tratamento e Interpretação dos Dados;
- Síntese da ideia através de um fluxograma;
- Criação de diagramas de nivelamento;
- Análise do desempenho do sistema - Fornecer uma discussão dos vários empecilhos que envolvem a implantação de radio enlace considerando os aspectos legislatórios;

1.4. DESCRIÇÃO DOS DEMAIS CAPÍTULOS

Para se atingir os resultados pretendidos, o presente trabalho foi subdividido como segue:

Capítulo 2: Será apresentado um breve histórico sobre a evolução dos sistemas de rádio enlace. O objetivo principal desse capítulo será de posicionar o leitor em relação ao cenário atual. Além disso, ainda neste capítulo serão abordadas características consideradas importantes para elaboração de um enlace bem como sua arquitetura básica.

Capítulo 3: Este capítulo tem por finalidade mostrar a evolução das entidades reguladoras de serviços de telecomunicações no Brasil focando ao longo desse percurso a influência das agências reguladoras internacionais no Brasil. O capítulo pretende também mostrar quais as legislações vigentes que atuam nas etapas de concepção de um rádio enlace e qual a legislação vigente que atua sobre as faixas pretendidas 3,5, 5 e 8,5 GHz.

Capítulo 4: Neste capítulo será apresentado o perfil do enlace que motivará o subsequente capítulo. Serão discutidos os principais aspectos relativos à concepção de um rádio enlace. Será apresentada uma síntese dos procedimentos básicos necessários para sua concepção.

Capítulo 5: Será realizada uma metodologia de concepção com aplicação da legislação em forma de fluxograma que norteará então os efeitos da mesma na operação do enlace, assim como uma análise recursiva e exploratória através da discussão dos resultados obtidos através do estudo de caso.

Capítulo 6: Serão apresentadas as considerações da autora, sobre o tema proposto, suas conclusões finais, bem como os estudos futuros.

1.5. REFERÊNCIAS

- [1] NETO, V.S. A. “**Sistemas de Propagação de Rádio Enlace**” Editora Érica, 1999.
- [2] PEDRO A. N. “**História das Comunicações e das Telecomunicações**”. Notas de aula do Curso de Engenharia Elétrica - Universidade de Pernambuco – UPE, 2003.
- [3] RIBEIRO, J. A. “**Engenharia de Micro-ondas: Fundamentos e Aplicações**” Editora Érica, 2008.
- [4] BERMÚDEZ, Luis Afonso. Gestão em Telecomunicações. Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília. **Organizações Nacionais e Internacionais de Telecomunicações e Normatização**. Brasília, 2001.
- [5] HEINRICH, R. R. “**Análise das Características de Propagação em Radio Enlaces de Canais Banda Larga na Faixa de UHF**”. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2013.
- [6] STAHLKE, R. F. “**Análise e Estudo da Influência dos Efeitos Atmosféricos na Propagação de Ondas Eletromagnéticas na Faixa SHF: Estudo de Caso e Aplicação a um Enlace Operando em 23,6 GHz**”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2006.

[7] PRADO, A. O. ; PEREIRA C. P.; AMARAL C. T. **“Enlace de Microondas Para Segurança Pública : Desafios para o Licenciamento em 4.9 GHz”**. IX Semana de Engenharia da UFFV Seminário Fluminense de Engenharia Niterói, RJ, Brasil, 26-29 de novembro de 2007.

[8] NASCIMENTO, E. J. **“Digital Public Safety Radio Communication”**. PIERS Proceedings, August, Stockholm, 2013.

[9] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **“Resolução nº 537 de 26 de fevereiro de 2010: Regulamento sobre canalização e condições de uso da faixa de 3,5 GHz”**. In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em abril de 2013.

[10] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **“Resolução nº 495 de 10 de agosto de 2008: Regulamento sobre canalização e condições de uso da faixa de 3,5 GHz”**. In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em abril de 2013.

[11] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **“Resolução nº 106 de 26 de fevereiro de 1999: Regulamento sobre canalização e condições de uso da faixa de 8,5 GHz”**. In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em abril de 2013.

CAPÍTULO 2. PARÂMETROS QUE ENGLOBALAM UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Resumo: Neste capítulo propõem-se uma ampla discussão sobre os vários aspectos de concepção delineando-se então o perfil do tipo de sistema que será estudado.

2.1. INTRODUÇÃO

A concepção de um rádio enlace em diversas bandas de frequência passa pela compreensão dos diversos fatores que compreendem o mesmo [1]. Neste trabalho, entende-se que prioritariamente estes fatores poderiam ser:

- Um plano de negócios (para quem e em quais condições);
- Um plano financeiro (viabilidades e necessidades);
- Um plano legislativo (aplicação de legislação vigente);
- Um plano de engenharia (desafio, solução e resultado).

Estes diversos fatores considerados como prioritários serão abordados e percorridos sob uma ótica geral, sem aprofundamento específico nesta etapa. Os capítulos subsequentes farão então a devida convergência sob o ponto de vista de apresentação de normas legislativas específicas e projeto específico de rádio enlace para que o estudo de caso possa ser apresentado e as considerações a partir de então feitas e sumarizadas em forma de metodologia.

2.2. PLANO DE NEGÓCIOS

Um Plano de Negócios é um documento, não obrigatório a nenhuma agência de controle e fiscalização, que detalha as ações necessárias para atingir um ou mais objetivos daquilo que se pretende realizar, adaptando-se a mudanças e identificando tendências. Esta ferramenta, segundo os especialistas da área, pode cobrir entre um a cinco anos de uma empresa ou negócio, sendo muito importante a sua atualização [2]. O planejamento pode ser feito para o serviço segundo o qual o mesmo foi criado

e posteriormente para ampliação do mesmo . Neste trabalho, entende-se que para a realização de um plano de negócios os seguintes requisitos poderiam ser seguidos:

- Disponibilidade de frequência;
- Verificação da existência de similaridade do serviço proposto;
- Verificação da potencialidade do serviço ofertado e sua possível ampliação;
- Possíveis adversidades e suas estratégias de solução;
- Fatores econômicos que impactam sobre o que é pretendido;
- Fatores sócios culturais se houver necessidade;
- Fatores políticos/legais para liberação de funcionamento;
- Concorrência em casos de similaridade de pretensões.

Em suma pode-se dizer que quando um projeto de rádio enlace é baseado nas informações precedentes, acredita-se que o conceptor terá em mãos subsídios para a comercialização do seu enlace, pois responde as questões consideradas de base na elaboração de um plano de negócios. A saber:

- Porque se esta projetando;
- Para quem o serviço esta sendo efetuado;
- Quais as condições deste projeto.

A análise em conjunto destas respostas fornecem as medidas de avaliação e controle do que é considerado importante quando se trata da concepção de um sistema de transmissão.

2.3. PLANO FINANCEIRO

O plano financeiro é uma das partes componentes de um projeto de sistema, cujo impacto pode tornar ou não possível sua realização. No caso do presente trabalho, não houve a elaboração desse plano pelo fato de que o trabalho é de cunho científico e não comercial. Entretanto não se pode deixar de se destacar fatores importantes a ser levados, [2].

- Preço do espectro para a faixa que se pretende atuar;
- Preço do conjunto radiante (cabos, torres e antenas);

- Preço dos equipamentos utilizados no processo de transmissão e de recepção (moduladores, amplificadores, filtros, transmissores, etc.);
- Preço dos equipamentos de medição de manutenção (multímetros, analisadores de espectro, analisadores de rede, etc.);
- Preço dos bastidores;
- Custo da infraestrutura (ar condicionado, baterias, banco de capacitores, etc.);
- Custo de manutenção de equipamentos periféricos (computadores, internet, luz, etc.);
- Preço da engenharia (*softwares especializados*, profissionais, CREA, etc.);
- Retorno do investimento;
- Duração e tipo do serviço.

Pelos motivos elencados é que se acredita que um projeto de rádio enlace, enseja, que de modo iterativo o conceptor tenha em mente a importância do plano financeiro (viabilidade e necessidades) para que o mesmo obtenha pouca probabilidade de insucesso em seu processo de concepção.

2.4. PLANO LEGISLATIVO

Entende-se por plano legislativo a verificação da legislação pertinente à faixa de frequência escolhida bem como a subsequente aplicação da mesma no projeto de rádio enlace que se enseja. O Capítulo 3 desta dissertação mostrará detalhadamente a evolução dos organismos legislativos nacionais e internacionais.

Para o início de um projeto de rádio enlace e para que a legislação pertinente possa ser aplicada (seja para as frequências em VHF, UHF e SHF) se iniciar os procedimentos de projeto a partir do preenchimento dos seguintes documentos solicitados ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações [3]:

- Formulário ANATEL 011 – Solicitação de Serviços de Telecomunicações;
- Formulário ANATEL 027 – Diagrama de Ligação da Rede;
- Formulário ANATEL 165 – Descrição do Sistema;

- Formulário ANATEL 104 – Descrição das Características das Estações;
- Formulário ANATEL 105 – Formulário de Frequência (no caso de mais de uma radiofrequência);
- Laudo Conclusivo;
- Cadastramento do rádio enlace no SITAR.

O projetista de um rádio enlace deve ter em mente antes de tudo que o espectro de frequências é um patrimônio público precioso e cabe ao governo, administrador da coisa pública, extrair o máximo de retorno econômico para a população. Logo não se pode simplesmente escolher aleatoriamente uma determinada frequência e iniciar-se os procedimentos de cálculo de um rádio enlace sem que se tenha em conta as restrições ligadas à mesma. Atualmente existem três grandes grupos de frequências:

- Frequências não licenciadas;
- Frequências de uso restrito;
- Frequências licenciadas.

2.5. PLANO DE ENGENHARIA

Entende-se por plano de engenharia a análise da concepção de um rádio enlace sob dois pontos de vista, aqui chamados de: plano macroscópico e plano microscópico. Sob ponto de vista macro entende-se que as seguintes questões devem obrigatoriamente ser respondidas:

1. Quais os desafios que serão enfrentados e os seus porquês;
2. Quais as possíveis soluções a estes desafios;
3. Quais os resultados esperados.

Por ponto de vista micro entende-se que uma vez definidos os objetivos a serem atingidos, a preocupação do conceptor deve ser então a de parametrizar todo o conjunto de fatores que levarão a cabo os objetivos pelos quais o rádio enlace foi criado e principalmente assegurar-se de que haja potência suficiente disponível no receptor, de modo que a comunicação seja estabelecida com níveis de sinal aceitáveis.

2.5.1. Plano Macroscópico (Objetivos Gerais)

A ótica de concepção macro de um enlace pressupõe uma criteriosa leitura e entendimento do plano de *marketing*, do plano financeiro e do plano legislativo. Mas também e, sobretudo, que o sistema de transmissão - objeto de projeto - seja capaz de solucionar os desafios de conectar empresas ou centros de ensino, seja através de conexão ponto a ponto ou ponto multiponto. Consequentemente os modos de interligação disponibilizados são [7], [8] e [9]:

- *Interligação via Rádio*: Para solucionar este desafio, pode-se realizar o projeto através de conexão com visibilidade direta (ponto a ponto) ou através de pontos de repetição. Este tipo de enlace com interligação via rádio, em média e dependendo do projeto pode alcançar distâncias variáveis entre 50 km a no máximo 100 km com taxas variáveis entre 10 Mbps a 100 Mbps de velocidade para qualquer tipo de aplicação.
- *Interligação VPN*: O recurso de Cliente VPN permite a qualquer usuário em qualquer localidade da internet, de um hotel, por exemplo, de uma *lan house* ou de um *cybercafé* trabalhar de forma segura como se este estivesse fisicamente no local, acessando todos seus arquivos da rede, sistemas, documentos, ou seja, interligação VPN representa nada mais do que uma rede particular virtual utilizando a infraestrutura de uma rede pública, como a internet.
- *Interligação via Fibra Ótica*: O serviço de interligação via Fibra Ótica, é ideal para usuários que necessitam de altas taxas de velocidade (acima de 100 Mbps), com unidades em áreas próximas, principalmente plantas industriais de grande extensão.

Desafios: estes que viabilizam ou não o projeto unicamente sob a ótica da engenharia e legislação. Vários seriam os desafios a serem enfrentados quando se inicia o projeto de um rádio enlace. De modo sumarizado destaca-se:

- Disponibilidade de espectro;
- Equipamentos a serem utilizados;
- Propagação do sinal;

- Quantidade de informações;
- Distribuição da informação;
- Localização de terminais;
- Mapeamento Cartográfico;
- Cadastramento no SITAR (manual de projetos técnicos da ANATEL).

Observa-se que nenhum item pode ser tratado isoladamente, pois todos são interativos e o tratamento isolado de um ou de outro pode resultar em um enlace pobre ou interferente sob o ponto de vista de sinal ou inviável sob o ponto de vista de infraestrutura.

Soluções: As soluções encontradas não costumam inviabilizar o projeto de um rádio enlace, mas podem onerá-lo substancialmente por conta de medidas inapropriadas. Sugere-se que o questionamento a seguir poderia ser aplicado no início da concepção do enlace visando fornecer soluções para alguns dos problemas que podem advir na etapa de concepção:

- Qual o tipo de serviço e qual a sua taxa?
- Qual o espectro disponível para tal aplicação?
- Quais as restrições legislativas?
- Qual a base de dados disponível e qual a sua qualidade?
- Levantamento de outras restrições.

Resultados: o melhor resultado possível para o conceptor é ter o seu enlace operando dentro dos melhores e mais rígidos padrões de qualidade que neste caso se traduz tanto pelo imperativo da solução do desafio, quanto ao atendimento à legislação vigente.

2.5.2. Plano Microscópico (Objetivos Específicos)

Para qualquer rádio enlace em qualquer faixa de frequência, torna-se imperativo que o conceptor tenha em mente um mínimo de planejamento para o projeto do mesmo [11] e [12]. Vários seriam os modos segundo o qual este planejamento

poderia parecer (controle único da potência, ou da frequência ou da atenuação ou controle combinado de parâmetros). No caso do presente trabalho, será adotada uma metodologia de parametrização com controle combinado dos parâmetros considerados importantes na concepção de um sistema de transmissão onde serão mostrados nos capítulos a seguir.

2.6. CONCLUSÃO

Neste capítulo procurou-se sintetizar aquilo que a palavra concepção de sistema de transmissão enseja. Os aspectos de concepção, tal como mostrado ao longo do capítulo, serviu para posicionar o leitor para o trabalho específico que se pretende ao mesmo tempo em que mostra o quão complexo este processo de concepção pode vir a ser. O objetivo da aplicação das normas legislativas no processo de concepção torna-se então mais claro na medida em que a sua importância tenha sido explicitada. Do exposto então, nos capítulos subsequentes será apresentada uma visão sobre os órgãos responsáveis pela legislação e como os mesmos operam na gestão do espectro e finalmente as etapas de concepção dentro dos objetivos deste projeto que será sumarizada em um estudo de caso, com sua análise e considerações dos possíveis desdobramentos.

2.7. REFERÊNCIAS

[1] MINISTÉRIO DA DEFESA DO EXÉRCITO BRASILEIRO, “**Manual de Administração de Radiofrequências**” - 2º Edição, 2002.

[2] ÍCONE, “**Inteligência em Redes Multiserviços**” – In: <http://www.iconne.com.br>. Acesso em abril de 2014.

[3] SITAR, “**Manual de Projetos Técnicos**”, 1º Edição – In: <http://www.anatel.gov.br>. Acesso em maio de 2014.

[4] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, “**LEI Nº 9.472 DE 16 de julho de 1997**” - In: <http://www.anatel.gov.br> > Legislação. Acesso em abril de 2013.

[5] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, “**Decreto Federal n.º 2.197 de 08/04/97**” - In: <http://www.anatel.gov.br> > Legislação. Acesso em maio de 2013.

[6] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, “**Norma n.º 13/97**”- In: <http://www.anatel.gov.br> > Legislação. Acesso em maio de 2013.

[7] VIANET, “**Web- site Especialista em Projetos de Rádio Enlace**” - In: <http://www.vianet.com.br>. Acesso em junho de 2013.

[8] WASHINGTON D, R., “**Método de Dimensionamento de Internet via Rádio**” SBrT- Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Volume I, São Paulo ,2010.

[9] FELICE, F., “**Análise do Desempenho de Enlaces Ponto-a-ponto Utilizando a Faixa de Frequência não Licenciada de 2,4GHz em Tecnologia Spread Spectrum**”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

[10] TERTULIANO Filho, H., “**Metodologia de Equacionamento e Parametrização de Enlaces de Rádio Frequência**” Manual de Concepção - Editora UFPR – Curitiba – PR, volume I, 2010.

[11] SILVA,G. BARRADAS, O., “**Sistemas Radio visibilidade**”. 2ª Edição. Editora LTC. 1978.

[12] MIYOSHI, E.M., “**Projeto de Sistemas Rádio**”. 3ª Edição Revisada. Editora Érica. 2006.

CAPÍTULO 3. LEGISLAÇÃO VIGENTE

Resumo: O objetivo geral desse capítulo será o fornecimento de respostas ao seguinte questionamento: o que são organismos de controle, como eles atuam, porque eles atuam, onde eles atuam tanto a nível nacional quanto internacional. Serão mostradas também quais as legislações vigentes que atuam nas etapas de concepção de um rádio enlace e qual a legislação vigente que atua sobre as faixas pretendidas 3,5, 5 e 8,5 GHz, bem como uma breve discussão sobre as faixas de frequência não licenciadas.

3.1. INTRODUÇÃO

Nas últimas cinco décadas, o setor de telecomunicações brasileiro passou por transformações estruturais significativas e a síntese destas transformações encontra-se na Figura 2. Destaca-se a criação da Telebrás nos anos 70, sua privatização nos anos 90 sua extinção nos anos 2000, [1], [2], [4], [5] e [6].

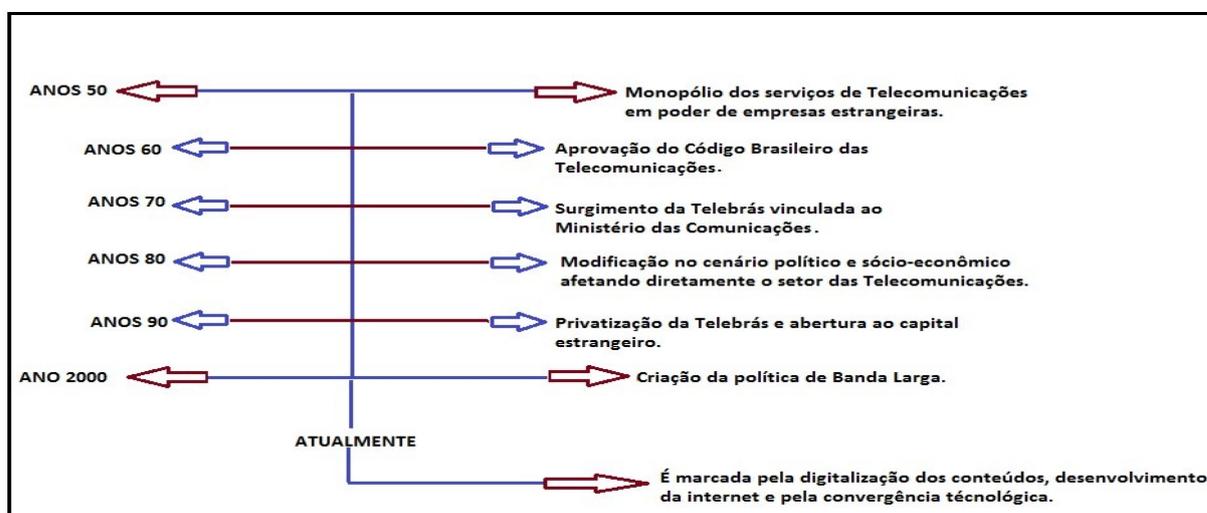


FIGURA 2 – EVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÕES BRASILEIRA.
FONTE: AUTORA.

3.2. AGÊNCIAS REGULADORAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

A matéria que trata sobre a criação, definições, funções e prerrogativas relativas às agências reguladoras tanto nacionais quanto internacionais [3,7]. Na sequência faz-se então um breve resumo de sua importância visando contemplar os aspectos legislativos úteis e necessários à concepção de rádio enlaces.

3.2.1. Anatel

O início de criação da ANATEL foi baseado na criação de um cenário no qual o Estado passasse a ter o poder de ser o regulador de serviços e não mais o de provedor de serviços. Sua função passou então a ser a de Regular, Outorgar e Fiscalizar os serviços de telecomunicações. Dessa forma a principal missão da ANATEL é a de “promover o desenvolvimento das telecomunicações do país de modo a dotá-lo de uma moderna e eficiente infraestrutura de telecomunicações, capaz de oferecer à sociedade serviços adequados, diversificados e a preços justos, em todo o território nacional” [11,12].

A Agência se caracteriza por ser administrativamente independente e financeiramente autônoma e não subordinada hierarquicamente a nenhum órgão de governo. Suas decisões só podem ser contestadas judicialmente, suas normas elaboradas são antes submetidas à consulta pública e seus atos são acompanhados por exposição formal de motivos que os justifiquem [7].

3.2.2. Agências e Padrões Internacionais

Inegavelmente foi o uso do telégrafo a nível mundial que suscitou o questionamento seguido de legislação internacional para a comunicação entre países distintos. Cada país é soberano no que tange o uso do espectro eletromagnético e as telecomunicações é sem dúvida um instrumento de soberania nacional. Após décadas de discussão são de fóruns específicos, pode-se afirmar que nos dias atuais quase todo serviço de telecomunicações é regido pela União Internacional de Telecomunicações - ITU, organismo que possui 145 anos de fundação e que é constituído por 192 Países Membros e mais de 700 Membros de Setor e Associados (setor público e privado incluindo universidades e centros de pesquisas) [3,7]. A principal motivação do ITU é “Conectar o Mundo” por meio da mobilização de recursos humanos, técnicos e financeiros necessários ao alcance das metas de conectividade estabelecidas no marco da Cúpula Mundial sobre a Sociedade da Informação (CMSI) e das Iniciativas Regionais. Desta forma, a ITU está comprometida em apoiar o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento do

Milênio em 2015 e fomentar a redução da brecha digital em todo mundo [7]. A Figura 3 descreve as principais funções exercidas pela ITU:



FIGURA 3 – FUNÇÕES EXERCIDAS PELA ITU.
 FONTE: ALBERNAZ, (2012).

O trabalho realizado pela ITU reúne três setores [3] e [8]:

- **Setor de Normatização das Telecomunicações (ITU-T):** A ITU-T tem por objetivo principal elaborar normas. Normas estas que são estabelecidas através dos resultados do trabalho realizado em conjunto entre os principais representantes do setor industrial para a criação de um consenso mundial sobre novas tecnologias.
- **Setor de Radiocomunicações (ITU-R):** Este setor possui como principais tarefas a elaboração de normas sobre sistemas de radiocomunicações que garantam a utilização eficaz do espectro de radiofrequências e a realização de estudos relativos ao desenvolvimento de sistemas de radiocomunicações.
- **Setor de Desenvolvimento das Telecomunicações (ITU-D):** O objetivo desse setor é trazer como garantia a todos os habitantes do planeta o direito à comunicação por meio do acesso à infraestrutura e aos serviços de informação e comunicação (Inclusão Digital).

3.3. NORMATIZAÇÃO APLICADA A PROJETOS DE RÁDIO ENLACE

A concepção de um rádio enlace, tal como visto no Capítulo 1 pressupõe não só o uso do conhecimento técnico de engenharia, mas também o conhecimento de

normas, resoluções, súmulas, decretos e leis que permeiam o bom uso do espectro eletromagnético e que deverão nortear o conceitor para que ao final do projeto possa-se ter um rádio enlace operando com alta relação sinal-ruído, mínima interferência, capacidade e desempenho dentro do esperado. Ressalta-se neste ponto o quão difícil torna-se a abordagem completa de todos os fatores que compõem um projeto de rádio enlace. Esta dificuldade é sentida do seguinte modo:

- Sensibilidade do projetista na consideração de variáveis intervenientes;
- Tipo de projeto em execução;
- Custos associados;
- A importância que cada projetista dá as suas variáveis.

Logo, os questionamentos iniciais que o conceitor deve fazer antes do iniciar o projeto, são:

* Para o caso de uma faixa licenciada observar que: A utilização das faixas licenciadas assegura ao operador a exclusividade de uso daquela faixa, proporcionando uma probabilidade menor de interferência [7,8]:

- O usuário que opera em faixa licenciada tem como vantagem a garantia de uma maior probabilidade na boa qualidade do serviço.
- Todas as condições de funcionamento de um enlace licenciado estão amparadas e dispostas no **Plano com Atribuição, Distribuição e Destinação** de Radiofrequências associadas aos diversos serviços e atividades de telecomunicações [10].
- Toda autorização para utilização do espectro de radiofrequência, será sempre vinculada a um serviço. Sempre que a ANATEL regulamenta uma faixa de frequência são definidos os seguintes requisitos [9,10]:
 - **Atribuição** – Definição clara dos serviços que podem utilizar a faixa;
 - **Canalização** – Definição clara dos canais de frequência dentro da faixa.

b) Os parâmetros constitutivos de um rádio enlace devem seguir minimamente as seguintes recomendações listadas na Tabela 1:

TABELA 1 - PRINCIPAIS NORMATIZAÇÕES APLICADAS A PROJETOS DE RADIO ENLACE.

FATORES RELACIONADOS À PROPAGAÇÃO	
PARÂMETROS	RECOMENDAÇÃO
Atenuação em Espaço Livre	ITU-R 525-2 e ITU-R 341-5
Atenuação devido a Areia e a Poeira	RESOLUÇÃO ANATEL nº 99
Atenuação devido à Vegetação	CCIR 721-3
Perdas por Transmissão	ITU-R 833-3
Perdas por Difração	ITU-R 341-5
Atenuação por Gases Atmosféricos	ITU-R 526-5
Fator de Curvatura da Terra e índices de Refração	ITU-R 676-3 e ITU-R 676-4
Critérios de Liberação de Sinal	ITU-R 453-6
	ITU-R 453-7
	ITU-R 530-8
Atenuação de Sistema	ITU-R 341-5
FATORES RELACIONADOS AO EQUIPAMENTO	
PARÂMETROS	RECOMENDAÇÃO
Índices de Qualidade	ITU-R 557-4
	ITU-R 594-2
Valor de Sistema	ITU-R PN. 837-1
Tipos de Antenas	ITU-R 699-5
	ETSI TR 102 243-1
	RESOLUÇÃO ANATEL 609
Polarização	ITU-R 838
Equipamento Transmissor e Receptor	RESOLUÇÃO ANATEL 369
	RESOLUÇÃO ANATEL 492
	ETSI EN 301 753 V1.1.1
	ETSI EM 301 021
	ETSI TR 102 243-1
	ETSI EN 302 217-2-2
	ETSI EN 302 217-2-1
Tipos de Cabos	RESOLUÇÃO ANATEL 399 e 470
Tipos de Torres	PRÁTICA TELEBRÁS 240-410-600
	NBR 6123 e NBR 1472
FATORES RELACIONADOS AO SISTEMA	
PARÂMETROS	RECOMENDAÇÃO
Altura de Torre	ITU-R 530-09
Ruído Térmico	ITU-R P.372-10
Ruído de Eco	ITU-R P.372-8
Ruído devido a Polarização Cruzada e Paralela	ITU-R P.372-8 e ITU-R P.1238-7
Limite total de Ruído do Sistema	ITU-R 395-1
Indisponibilidade do Sistema devido a Propagação	ITU-T G.821
Indisponibilidade do Sistema devido a Falhas nos Equipamentos	RESOLUÇÃO ANATEL 542
Disponibilidade Total do enlace	ITU-T G.25 e ITU-T G.22
FATOR PERTINENTE À CIDADE DE CURITIBA	
PARÂMETROS	RECOMENDAÇÃO
Plano Municipal da Cidade de Curitiba	LEI 11.535
	DECRETO 606

FONTE: AUTORA

3.4. AS FAIXAS DE FREQUÊNCIA 3,5 GHz, 5 GHz e 8,5 GHz

As faixas de frequência licenciadas, seguem severas condições de uso e de serviços aplicados às mesmas [10]. Dentro do escopo do trabalho de conceber um

enlace operando em uma faixa de frequência licenciada apresenta-se então uma síntese das principais legislações sobre o uso específico das faixas de frequência de 3,5 GHz, 8,5 GHz e 11 GHz como mostra a Tabela 2:

TABELA 2 – SÍNTESE DAS PRINCIPAIS NORMATIZAÇÕES RESPECTIVA A CADA FREQUÊNCIA.

LEGISLAÇÃO VIGENTE				
Frequência	Faixa de Operação	Potência Transmitida	Limiar de Recepção	Normatizações
3, 5 GHz	3400 MHz à 3600 MHz	$Pr \leq 30 \text{ W}$, para sistemas onde a transmissão realizada é entre estações fixas.	Para um BER $\leq 10^{-3}$: 4-PSK, 4-QAM = - 87 dBm 16-QAM = - 84 dBm Para um BER $\leq 10^{-6}$: 4-PSK, 4-QAM = - 84 dBm 16-QAM = - 81 dBm	Resolução da ANATEL 537; Recomendação ETSI EN 301 753; Recomendação ETSI EN 301 216; Resolução da ANATEL 369.
	3400 MHz à 3550 MHz	$Pr \leq 5 \text{ W}$, para sistemas onde a transmissão realizada é entre estações fixas ou móveis.		
	3550 MHz à 3600 MHz	$Pr \leq 2 \text{ W}$, para sistemas onde a transmissão realizada é entre estações fixas ou móveis.		
5 GHz	4440 MHz à 5000 MHz	$Pr \leq 2 \text{ W}$, para sistemas onde a transmissão realizada é entre estações fixas ou móveis.	Para um BER $\leq 10^{-3}$: 64-QAM = - 72 dBm Para um BER $\leq 10^{-6}$: 64-QAM = - 64,5 dBm	Resolução da ANATEL 495; Resolução da ANATEL 369. ETSI EN 301 216 Recomendação ETSI EN 301 461;
8,5 GHz	8275 MHz à 8500 MHz	$Pr \leq 1 \text{ W}$, para sistemas onde a transmissão realizada é entre estações fixas ou móveis.	Para um BER $\leq 10^{-3}$: 4-PSK, 4-QAM = - 85 dBm 16-QAM = - 78 dBm Para um BER $\leq 10^{-6}$: 4-PSK, 4-QAM = - 82 dBm 16-QAM = - 75 dBm	Resolução da ANATEL 106. Resolução da ANATEL 369. ETSI EN 301 216 Recomendação ETSI EN 301 461;

FONTE : AUTORA.

3.5. CONCLUSÃO

Neste capítulo, de modo sucinto, foi realizado um breve histórico sobre a agência reguladora de serviços de telecomunicações ANATEL bem como um breve histórico sobre o ITU foi apresentado e discutido. Em seguida procurou-se elencar os termos legislativos preponderantemente mais utilizados na concepção de um sistema de transmissão e para tal pesquisou-se cada um dos fatores considerados importantes no projeto de concepção. Após análise da legislação que norteia os procedimentos de projeto passa-se então, no Capítulo 4, a uma descrição detalhada dos procedimentos de projeto.

3.6. REFERÊNCIAS

- [1] SIQUEIRA, E., **“Três momentos da História das Telecomunicações no Brasil”**. São Paulo, dezembro Editorial, 1997.
- [2] PIRES, J. C. L., **“A Reestruturação do Setor de Telecomunicações no Brasil”**. Revista do BNDES, junho, Rio de Janeiro, 1999.
- [3] BERMÚDEZ, L. A., **“Gestão em Telecomunicações”**. Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília. Organizações Nacionais e Internacionais de Telecomunicações e Normatização. Brasília, 2001.
- [4] CARNEIRO, M. CHRISTINA F., **“Financiamento das Telecomunicações no Brasil: balanço e perspectivas”**. Revista do BNDES, v. 9, nº 17, Rio de Janeiro, jun. 2002, p. 153-68.
- [5] CGI.BR., **“Memorando de intenções sobre conteúdos digitais”**. 2007. Acesso em abril de 2013.
- [6] CGI.BR. **“Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação no Brasil”** 2009 e 2010. Acesso em abril de 2013.
- [7] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES – ITU. **“La Unión Internacional de Telecomunicaciones - Visión General”**. Genebra, 2000. 48p.
- [8] Superintendência de Radiofrequência e Fiscalização – **“Relatório Gerencial 2010”**. In-<http://www.anatel.gov.br/> Acesso em maio de 2013.

[9] COLEÇÃO BRASILEIRA DE DIREITO DAS TELECOMUNICAÇÕES Vol. I “**Coletânea de Normas e Julgados de Telecomunicações**”, 2010.

[10] “**Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequência no Brasil**” - ANATEL, 2012.

[11] ALBERNAZ J.C. “**26° Seminário Brasileiro de Radiodifusão - Técnico Abert**”, Brasília, 2012.

CAPÍTULO 4. CONCEPÇÃO DE RÁDIO ENLACE

Resumo: *O objetivo deste capítulo será o de descrever o perfil do tipo de enlace que motivará o estudo de caso subsequente. Neste capítulo será então feita uma descrição detalhada dos passos e dos procedimentos necessários que deverão assegurar o provimento do nível de sinal necessário na recepção do sistema visando o estabelecimento da comunicação, isso considerando-se a legislação vigente. Finalmente, os entraves desse processo de concepção considerados críticos serão analisados.*

4.1 INTRODUÇÃO

Quando a ideia é a de implantar um sistema de transmissão, devem-se levar em consideração parâmetros relevantes que garantam ao conceptor um desempenho satisfatório do sistema. Pode-se afirmar que a simples ideia de concepção de um sistema de transmissão passa pelo entendimento dos diversos fatores constitutivos do mesmo, de uma análise de engenharia através de uma metodologia de concepção e do conhecimento da legislação vigente.

O equacionamento destes parâmetros considerados diretos ou indiretos é que resultarão nos tipos de enlace anteriormente descritos.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O projeto de dimensionamento do sistema no presente capítulo terá premissa de interligação via rádio. Este tipo de enlace pode alcançar distâncias de até 50 km ou até mais estando então dentro do que se pretende para análise de caso que será mostrado no Capítulo 5. O desafio deste tipo de interligação reside no problema de visibilidade das antenas, pois interligações via rádio são susceptíveis a interferências.

As etapas do projeto que dimensionarão o sistema de transmissão estão relacionados com parâmetros vinculados a: Geometria, Frequência, Potência, Interferência (Ruídos) e Confiabilidade do enlace, como pode ser observado na Figura 4:

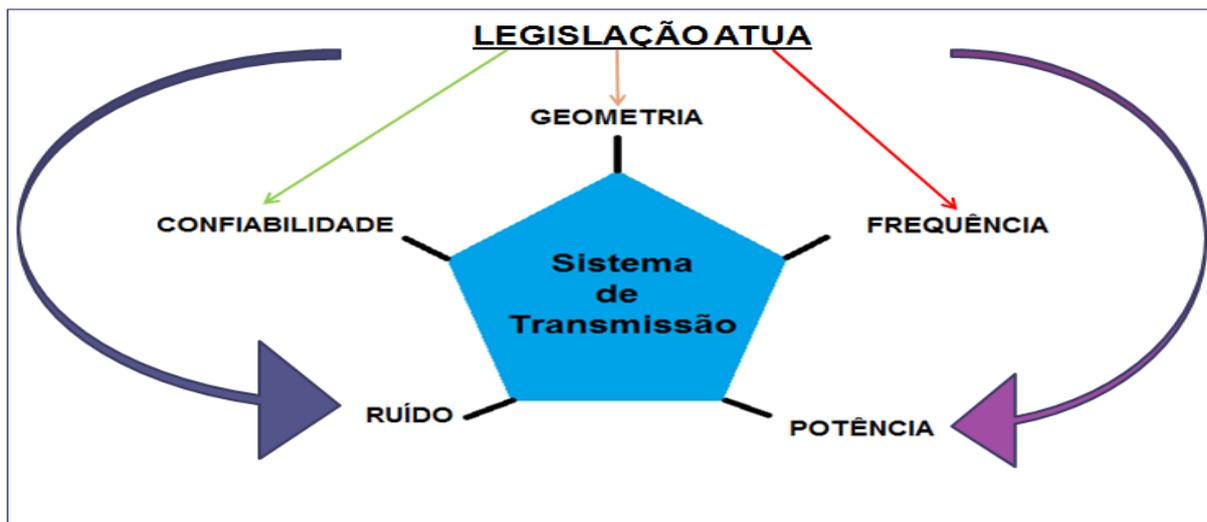


FIGURA 4 – FASES DE ANÁLISE DO SISTEMA.
 FONTE: AUTORA.

Estas cinco etapas de projeto serão abordadas em três fases explicitadas na sequência deste capítulo. Visando a obtenção de um enlace otimizado, além das parametrizações e cálculos acima propostos entende-se que o uso de programas computacionais específicos servirá para assegurar a verificação e facilidade de interpretação dos resultados obtidos.

Tal como descrito no Capítulo 2, no presente trabalho não serão realizados nem planos financeiros e nem planos de negócios, pois o sistema desenvolvido possui um cunho científico. O Capítulo 3 descreveu de modo objetivo qual a legislação que se aplica a este tipo de projeto. Acredita-se então que para finalizar a convergência que permeará o estudo de caso cabe apenas o descritivo das etapas aqui elencadas como mostrarão as figuras à seguir.

1. Parâmetros de Geometria

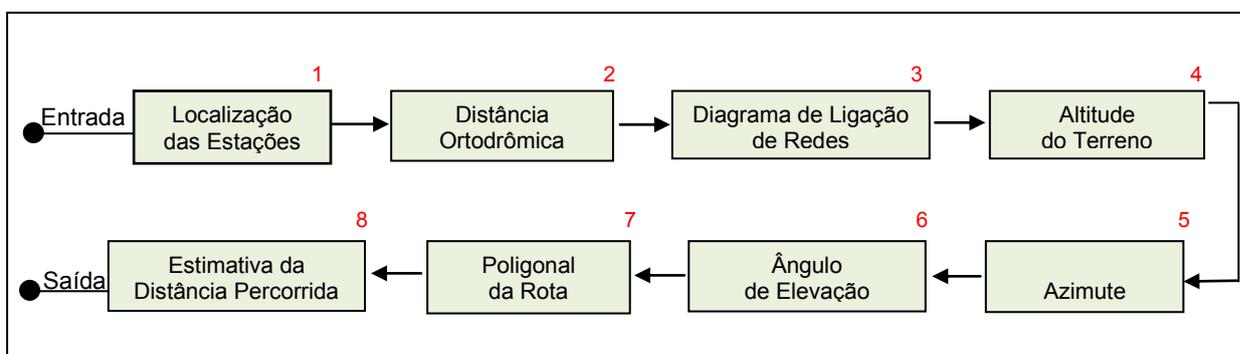


FIGURA - 5 DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE GEOMETRIA DO SISTEMA.
 FONTE: AUTORA.

2. Parâmetros de Frequência e Propagação

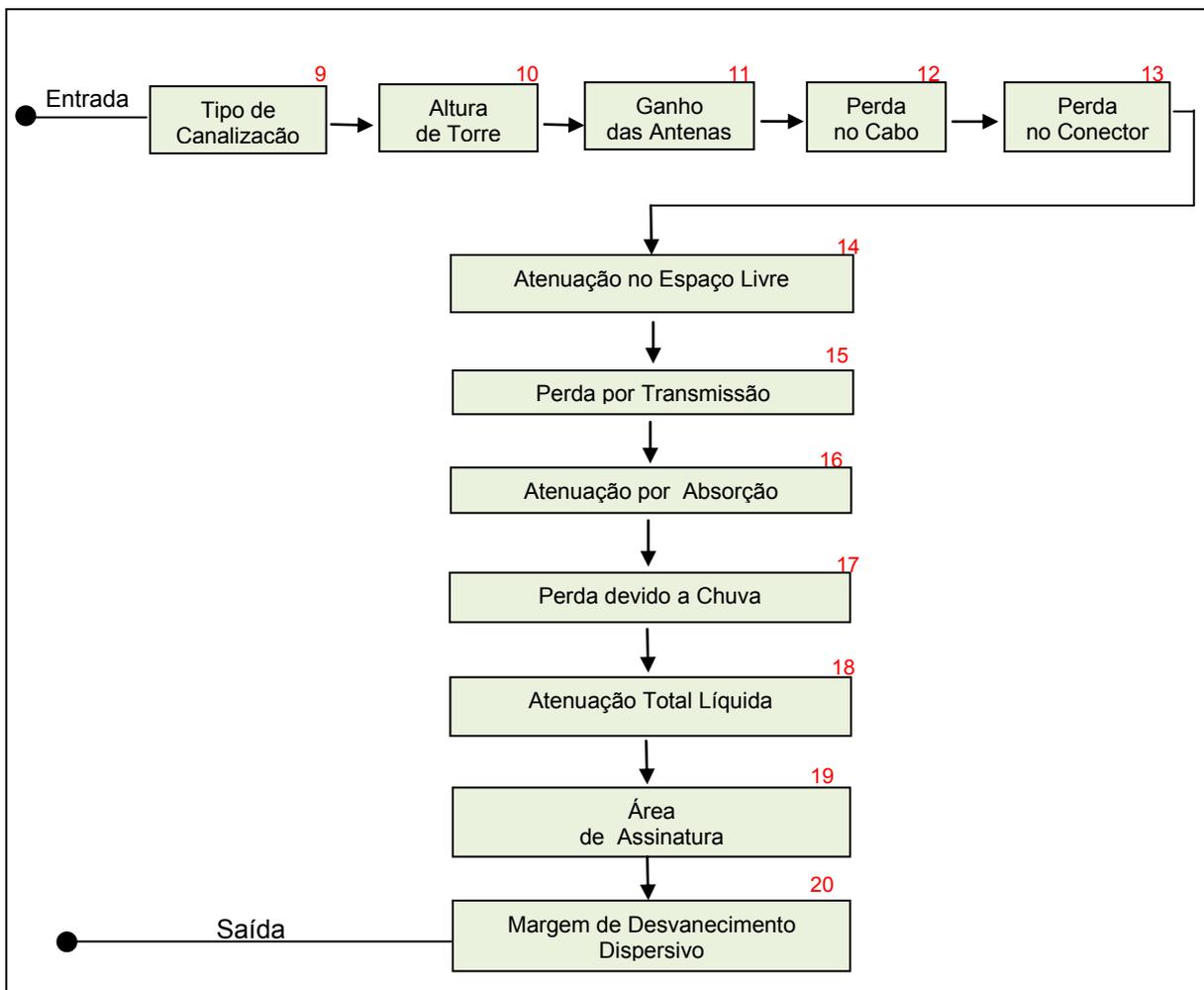


FIGURA 6 - DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE FREQUÊNCIA DO SISTEMA.
FONTE:AUTORA.

3. Parâmetros de Potência

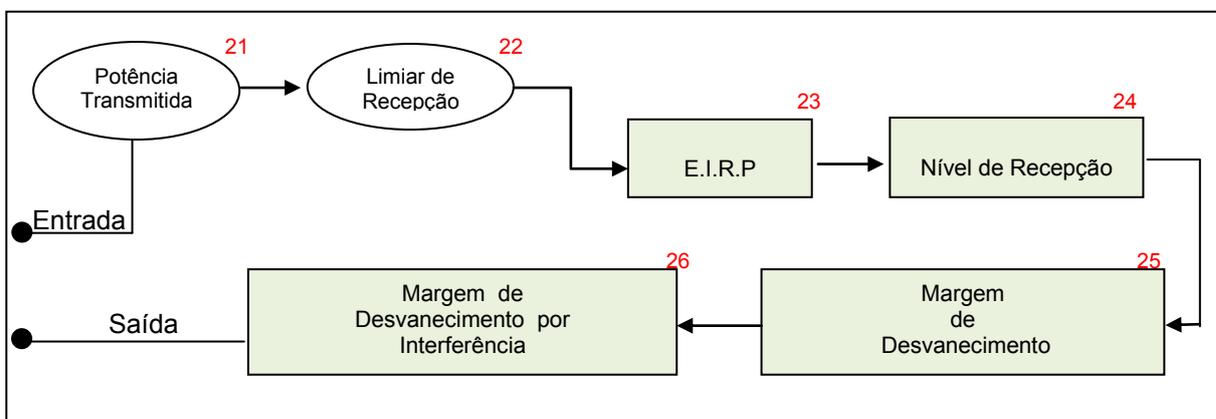


FIGURA 7- DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE POTÊNCIA DO SISTEMA.
FONTE: AUTORA.

4. Parâmetros de Ruído

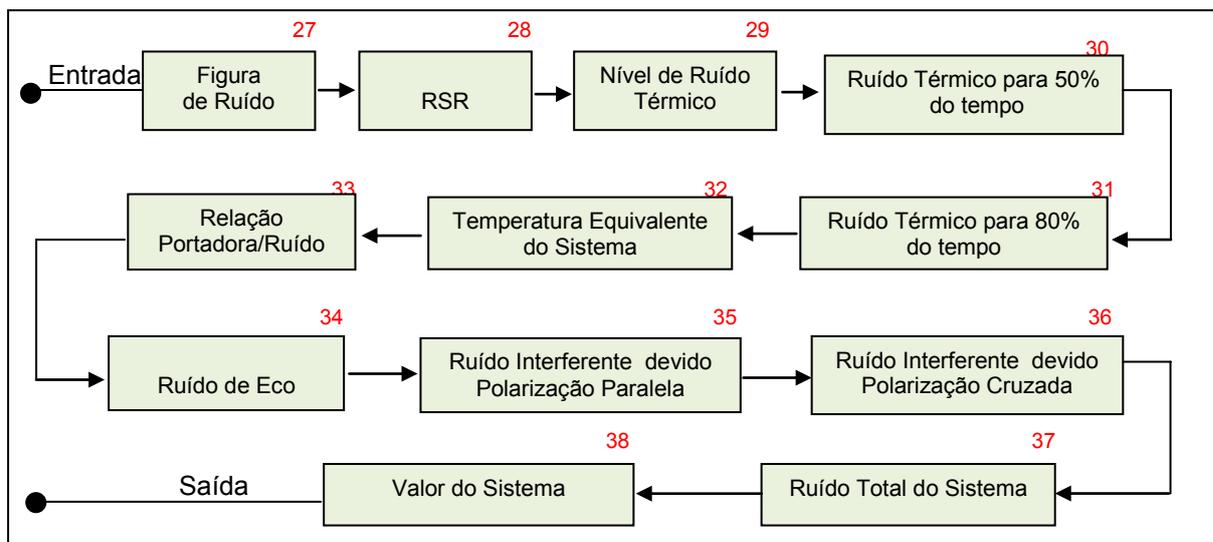


FIGURA 8 - DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE RUÍDO DO SISTEMA.
FONTE: AUTORA.

5. Parâmetros de Confiabilidade

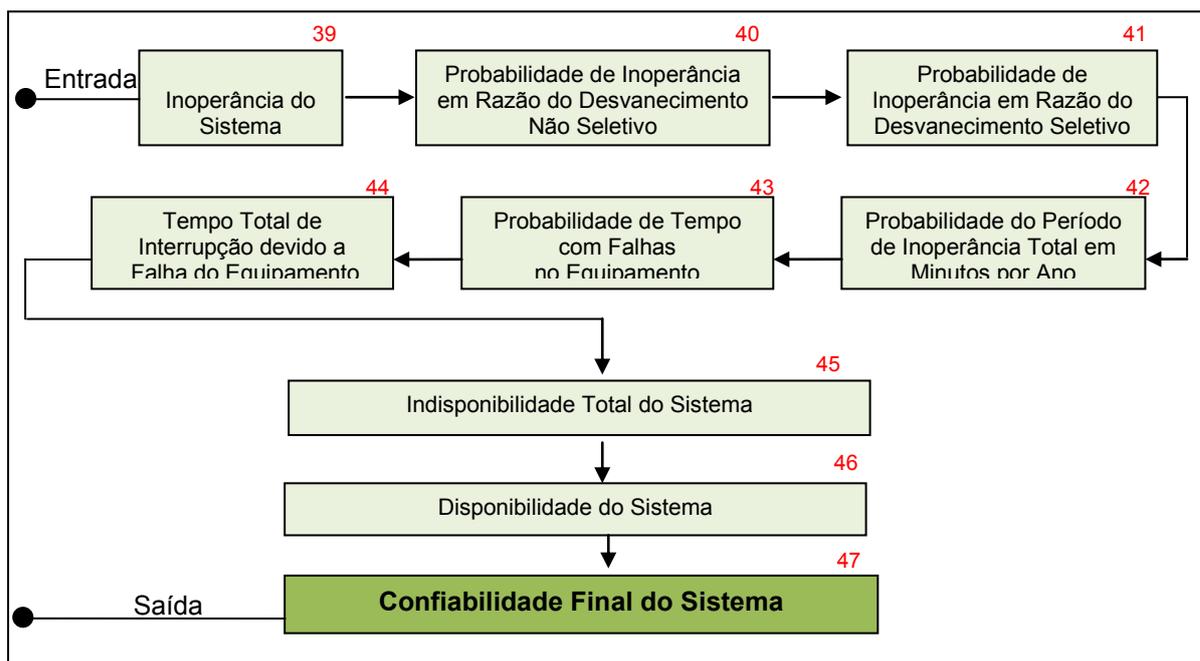


FIGURA 9 – DIAGRAMA REFERENTE AOS PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA.
FONTE: AUTORA.

4.3 PLANO DE ENGENHARIA DE CONCEPÇÃO

Para análise da Engenharia de concepção envolvida no projeto do rádio enlace levar-se-á em conta então seus objetivos macro e micro tal como os mesmos foram

elencados no Capítulo 2 desta dissertação. Em resposta aos imperativos deste plano sob o ponto de vista macro fez-se a seguinte análise:

- Relativo aos desafios: o imposto no presente caso será a conexão de quatro sítios por interligação denominada ponto multiponto com três frequências de geração e controle de potência (através dos limites estabelecidos pelas normas específicas para cada frequência de análise), pois será fixado na recepção nível mínimo de sinal. Assim como uma análise referente às possíveis atenuações sofridas durante a propagação do sinal.

O cálculo dos principais ruídos que afetam diretamente um sistema de transmissão, pois o nível do mesmo interfere de modo incisivo na confiabilidade de todo um sistema. Vale ressaltar que cada etapa realizada sempre estará vinculada a aplicação criteriosa da legislação vigente.

- Relativo às possíveis soluções: o custo do desafio sob o ponto de vista financeiro não será analisado no presente trabalho, pois o mesmo possui cunho científico. Como a manutenção de uma determinada taxa de transmissão é imposição de projeto terão que ser encontrados fornecedores de soluções para tais serviços.

As restrições legislativas deverão ser analisadas tanto sob seus aspectos nacionais quanto internacionais, o que já foi coberto no capítulo precedente. A base de dados para a solução que se procura será a cidade de Curitiba e a região onde se processará todo o cálculo do rádio enlace será urbana densa, semi - urbana, urbana e rural.

- Relativo aos resultados esperados: os resultados esperados serão mostrados e analisados no Capítulo 5 desta dissertação.

Em resposta aos imperativos da solução micro, a preocupação ao se descrever as etapas de projeto será a de levar a cabo os objetivos pelos quais o rádio enlace foi criado e principalmente assegurar que a comunicação seja estabelecida com níveis de sinal aceitáveis.

4.4 PARÂMETROS DE GEOMETRIA

Parametrizar um rádio enlace sob o ponto de vista de sua geometria significa explicitar a sua estrutura física, ou seja, determinar onde as torres serão colocadas, qual o tipo de antena que será utilizada no projeto, os cálculos de azimutes e dos ângulos de elevação, o cabeamento do sistema, a distância que o sinal deverá percorrer, as considerações sobre a elevação do terreno. Claramente percebe-se que seria impossível uma concepção estanque, pois em todas as etapas de concepção o interfaceamento de informações sobre potência ou frequência incidirá sobre a maioria das etapas. No entanto o objetivo de separação de concepção serve para nortear os passos de concepção de modo a possibilitar por etapas a revisão de alguns dos itens ao longo do processo de concepção. Os principais pontos a serem calculados são:

1) Primeiramente é importante saber que quando se trata da concepção de um rádio enlace, o primeiro passo é determinar a latitude e longitude das antenas transmissoras e receptoras respectivamente daquele sistema, ou seja:

- Latitude de um ponto – Representa a distância em graus entre um ponto e a linha do equador medida sobre o meridiano de Greenwich. A latitude varia de norte a sul e de 0° a 90° , assumindo o valor de 0° no equador e 90° nos polos conforme mostra a Figura 10.

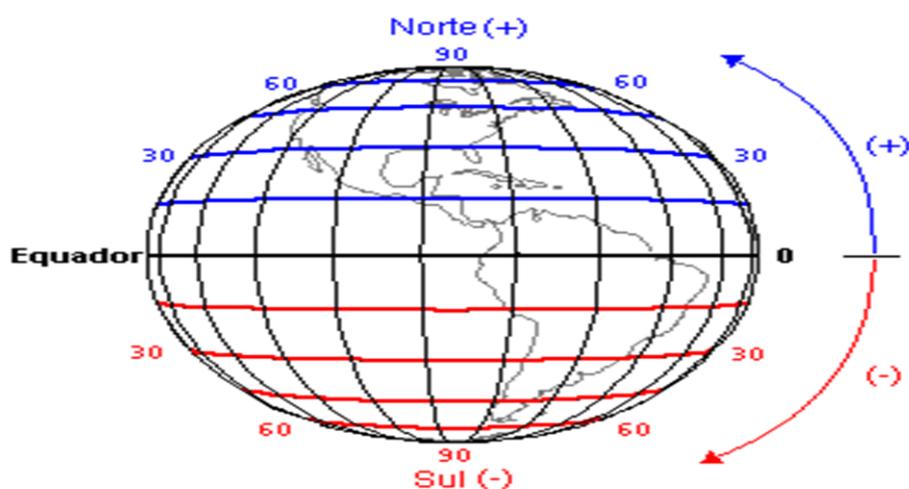


FIGURA 10 - DETERMINAÇÃO DA LATITUDE DE UM PONTO.
FONTE: [4].

- Longitude de um ponto – Corresponde a distância em graus entre um ponto e o meridiano de Greenwich medida sobre o equador. A longitude varia de 0° a 180° para leste ou para oeste conforme mostra a Figura 11.

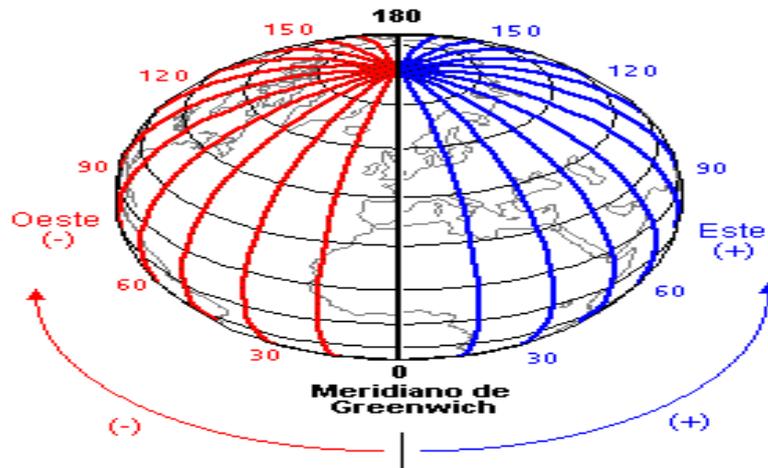


FIGURA 11–DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE DE UM PONTO.
FONTE: [4].

A latitude e a longitude das estações devem ser calculadas em graus decimais, [1].

$$\text{Graus decimais} = \text{Graus} + \frac{\text{minutos}}{60} + \frac{\text{segundos}}{3600} \quad (1)$$

2) *Distância Ortodrômica*: Uma vez que a latitude e a longitude das estações foram determinadas, calcula-se a distância linear entre os dois pontos de latitudes e longitudes diferentes, ou seja, determina-se a distância real entre os dois pontos. Esta distância é conhecida como distância ortodrômica, [2].

$$d = 111,276 \cdot \arccos(\{\sin(\text{latA}) \sin(\text{latB}) + \cos(\text{latA}) \cos(\text{latB}) \cos(\text{longA} - \text{longB})\}) \text{ [km]} \quad (2)$$

$$\Delta = \arccos \{\sin(\text{latA}) \sin(\text{latB}) + \cos(\text{latA}) \cos(\text{latB}) \cos(\text{longA} - \text{longB})\} \text{ [graus]} \quad (3)$$

Onde:

Lat A e Long A–Representam as coordenadas geográficas da estação que se localiza mais o oeste;

Lat B e Long B– Representam as coordenadas geográficas da estação que se localiza mais ao leste;

Δ – Representa a distância ortodrômica dada em graus. Vale ressaltar que o valor em graus da distância ortodrômica varia entre 111,194 a 111,276 km

3) *Definição do Diagrama de Ligação de Rede*: Representa graficamente as características relacionadas a simbologia das estações (se o sistema é constituído apenas de novas estações transmissoras e receptoras ou de estações antigas) que integram o enlace [3]. O diagrama de ligação de rede desenvolvido para análise do estudo de caso será apresentado no Capítulo subsequente.

4) *Determinação da Altitude do Terreno*: A determinação da altitude do terreno no qual se colocará a torre pode ser obtida das seguintes formas:

- a. Pela utilização de um GPS;
- b. Pela ajuda de instrumentos utilizados para a determinação de planejamento territorial tais como, por exemplo, a trena, o teodolito, a bússola, o nível e a mira;
- c. Através das facilidades da ferramenta de internet *Google Earth*.

Para esta análise foi utilizado para a determinação da altitude do terreno a ferramenta de internet *Google Earth*

5) *Cálculo do Azimute*: O Azimute tem por finalidade alinhar as antenas na mesma direção transmissão/recepção de maior potência irradiada. Para tal se torna necessário calcular o ângulo entre o norte e a linha de visada da estação de menor longitude. Vale lembrar que existe variação do Azimute conforme a sua posição geográfica. Ou seja, o azimute varia conforme a sua posição em relação ao eixo Norte-Sul. As equações a seguir permitem o cálculo do Azimute, [4].

$$A_{zA} = \arccos \left\{ \frac{\text{sen}(\text{latB}) - \cos(\Delta)\text{sen}(\text{latA})}{\text{sen}(\Delta) \cos(\text{latA})} \right\} \quad (4)$$

$$A_{zB} = 180^\circ + A_{zA} \quad (5)$$

$$A_{zB} = 360^\circ - \arccos \left\{ \frac{\text{sen}(\text{latB}) - \cos(\Delta)\text{sen}(\text{latA})}{\text{sen}(\Delta) \cos(\text{latA})} \right\} \quad (6)$$

Onde:

A_{ZA} : refere-se ao Azimute da Estação A;

A_{ZB} : refere-se ao Azimute da Estação B.

6) *Cálculo do Ângulo de Elevação*: De forma a melhorar o alinhamento entre a antena de transmissão e a antena de recepção determina-se o ângulo de elevação. Este indica a necessária inclinação que à antena deve possuir relativamente ao plano horizontal. Uma vez obtido o ângulo de elevação procede-se à regulação da antena utilizando a escala graduada gravada geralmente na parte de trás da mesma, [4].

$$AE = \tan^{-1} \left[\frac{(\cos \frac{\Delta}{4} - 1)}{(\sin \frac{\Delta}{4})} \right] \quad (7)$$

Onde:

Δ – Representa a distância ortodrômica, conforme foi definida na Eq. 3.

7) *Poligonal da Rota*: Definir o poligonal de rota representa uma condição imprescindível exigida pela ANATEL. Seu objetivo fundamental é fazer com o que projetista tenha o perfeito alinhamento, do “azimute” de todas as estações que fazem parte do enlace, fator este preponderante quando deseja-se eficiência e qualidade do sistema, [3]. A poligonal da rota estabelecida para este estudo será apresentada no Capítulo a seguir.

8) *Estimativa da Distância Percorrida pela Onda*: A distância total percorrida pela onda não deve ser nem menor e nem maior do que o comprimento total do enlace. Para os casos nos quais o cálculo da distância mostre-se inferior ou superior ao comprimento total do enlace, sugere-se uma revisão no processo de alinhamento do enlace, [4].

$$d = 12962,4 \cdot \sin \left(\frac{\Delta}{2 \cdot \cos AE} \right) \quad (8)$$

4.5 PARÂMETROS DE FREQUÊNCIA E PROPAGAÇÃO

Uma vez que a estrutura física (parâmetros geométricos) tenha sido devidamente executada escolhe-se então a “Frequência de Operação” que será

utilizada no enlace, que basicamente é determinada em função do tipo de serviço que se pretende utilizar. A partir da escolha da frequência podem-se definir o tipo de canalização, assim como os cálculos referentes á alturas de torre, o ganho das antenas, as perdas devido aos tipos de cabo e finalmente se determinar as atenuações naturais do sistema que se caracterizam como aquelas que ocorrem devido ao meio de propagação (topografia e morfologia do terreno).

9) *Canalização*: Determinar o tipo de canalização a ser usado em um sistema significa, relacioná-la as faixas de frequências de operação do mesmo. Grosso modo, canalizar significa fragmentar uma frequência em varias partes com o intuito de aumentar a eficiência de ocupação do espectro radio elétrico, ou seja, quanto melhor for à distribuição da canalização mais eficaz será a capacidade de informação transmitida. Para reduzir as interferências entre os canais de transmissão e recepção, existe um espaçamento entre a faixa que acolhe os canais de transmissão e a que acolhe os canais de recepção, também conhecidos como canais de ida e de volta. A disposição dos canais depende da forma em que os mesmos são ocupados, nos quais a quantidade de canais pode variar conforme o esquema de uso de frequências empregado. As principais disposições dos canais em cada faixa de frequência podem ser resumidas da seguinte forma, [5] e [6]:

- *Canalização sem Diversidade de Polarização* – A Figura 12 ilustra esse tipo de disposição que representa o esquema mais simplificado de realizar a disposição de canais. Tem como característica o uso menos eficiente do espectro (em termos de ocupação) em contrapartida, é uma disposição que apresenta baixa vulnerabilidade em relação às possíveis interferências produzidas no mesmo sentido de transmissão (polarizações iguais).

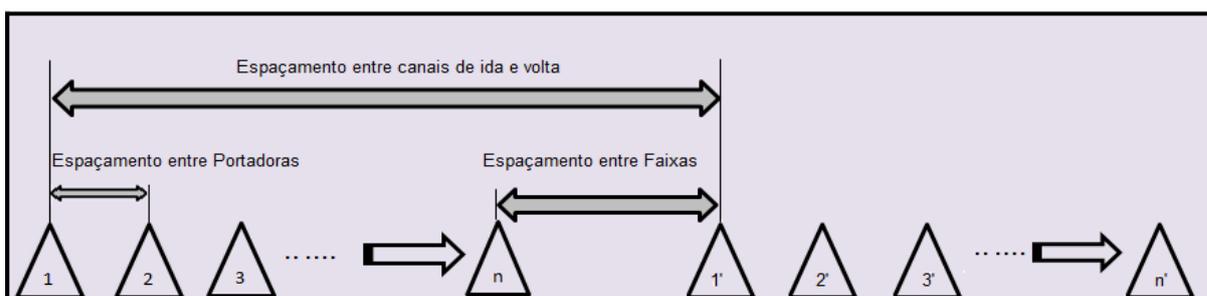


FIGURA 12 – CANALIZAÇÃO SEM DIVERSIDADE DE POLARIZAÇÃO.
FONTE: AUTORA.

- *Canalização com Diversidade de Polarização* – esse tipo de disposição de canais minimiza ainda mais a vulnerabilidade á interferências que podem ocorrer em canais de um mesmo sentido, pois para este caso pode-se dispor os canais ímpares em uma determinada polarização e os canais pares em outra. Vale ressaltar, que tanto para este tipo de disposição quanto para a disposição anterior percebe-se que ambas possuem a mesma eficiência de ocupação espectral. Pois para este tipo de disposição, também não se faz reuso de frequências. A Figura 13 ilustra esse tipo de disposição;

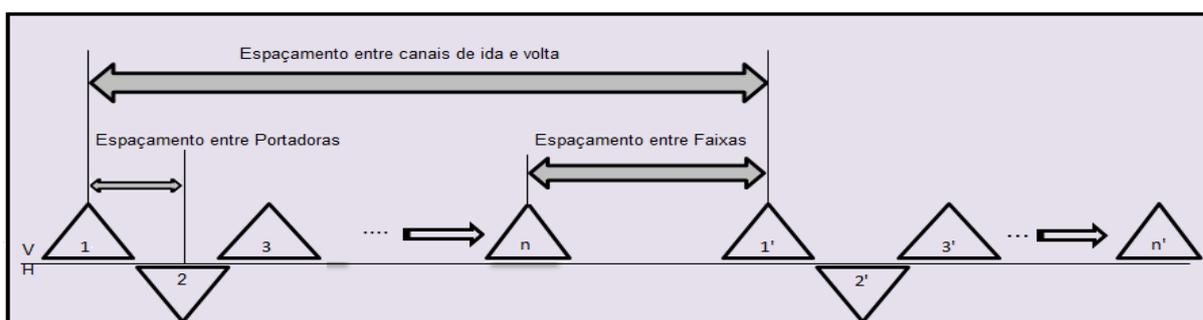


FIGURA 13 – CANALIZAÇÃO COM DIVERSIDADE DE POLARIZAÇÃO.
FONTE: AUTORA.

- *Canalização com Reuso Intersticial com Diversidade e Polarização* – para este tipo de disposição, os canais em ambas polarizações são acomodados lado a lado e caso haja um deslocamento $B/2$ (banda) de um canal em relação a outro haverá ocupação com reuso de frequência. A Figura 14 ilustra esse tipo de disposição;

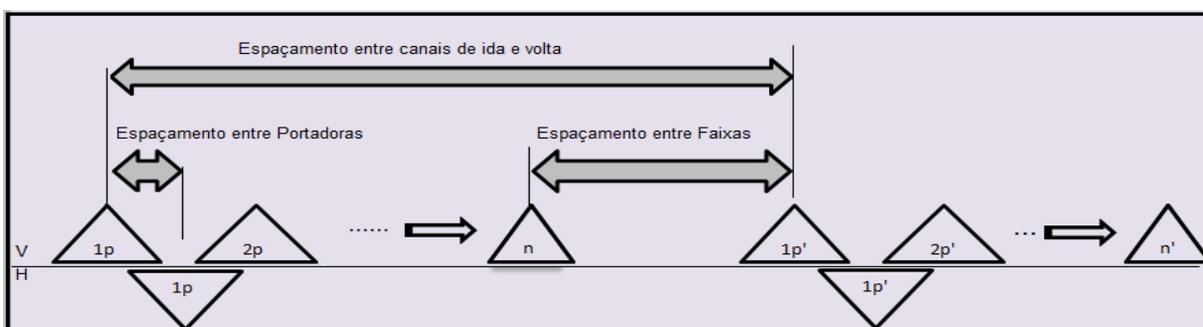


FIGURA 14 – CANALIZAÇÃO COM REUSO INTERSTICIAL E DIVERSIDADE DE POLARIZAÇÃO.
FONTE: AUTORA.

- *Canalização com Reuso pleno de Frequências e com Diversidade de Polarização* - este tipo de disposição representa uma solução de ajuste entre

a robustez, interferência e eficácia de ocupação espectral. Quando não existe o deslocamento de $B/2$ da canalização de uma determinada polarização em relação à outra, ou seja, as portadoras de ambas as canalizações se apresentam alinhadas, então o reuso de frequência é máximo. A Figura 15 ilustra este tipo e disposição;

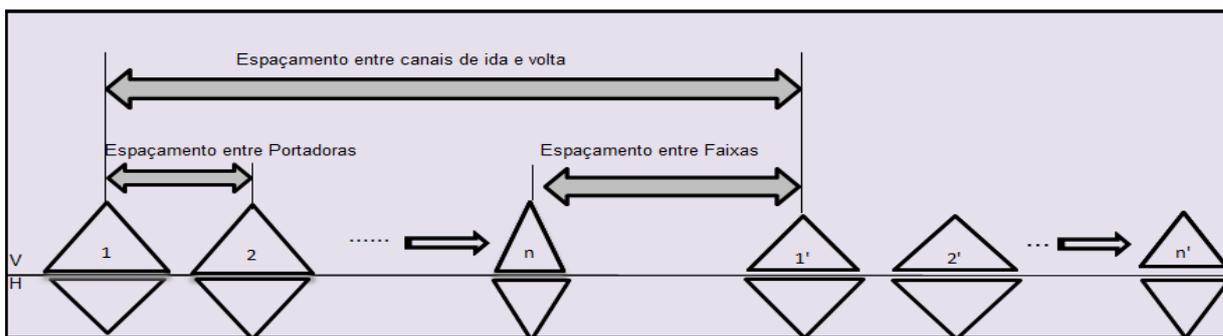


FIGURA 15 – CANALIZAÇÃO COM REUSO DE FREQUÊNCIA E DIVERSIDADE DE POLARIZAÇÃO.
 FONTE: AUTORA

Obs: O termo polarização por definição refere-se a maneira pela qual se transmite o sinal de uma antena em relação a uma direção específica.

10) *Determinação do Cálculo da Altura de Torre:* A torre é um elemento físico que estará sujeita à exposição natural do ambiente tal como o sol, a chuva, o vento dentre outros diversos fatores naturais fazendo com que o principal critério de escolha desse equipamento seja justamente a sua qualidade. Um segundo fator que deverá ser considerado nesta escolha seria uma análise de topografia entre os locais do enlace, pois baseando-se na topografia e nos obstáculos presentes na região de interesse, consegue-se determinar o tipo de torre mais eficiente para o enlace desejado [2] e [3]. Outro quesito a ser considerado diz respeito ao peso da estrutura, pois sobre a mesma será colocada a antena e possíveis outros equipamentos, por isso é sempre recomendável um estudo de carga.

No entanto não são apenas esses os fatores que devem ser considerados na escolha do tipo de torre, pois outros aspectos de grande importância também devem ser considerados [3] e [4]:

- ✓ Proximidade de instalações elétricas;

- ✓ Segurança do local contra furtos;
- ✓ Afastamento de casas, de árvores e escolas;
- ✓ Autorização do município para colocação da torre;
- ✓ Projeto civil da mesma.

O critério utilizado para o cálculo da altura das torres de transmissão e de recepção segue a recomendação ITU-R 530-09 apresentado por [5], que considera a condição de propagação de linha de visada direta. A Figura 16 ilustra este cenário:

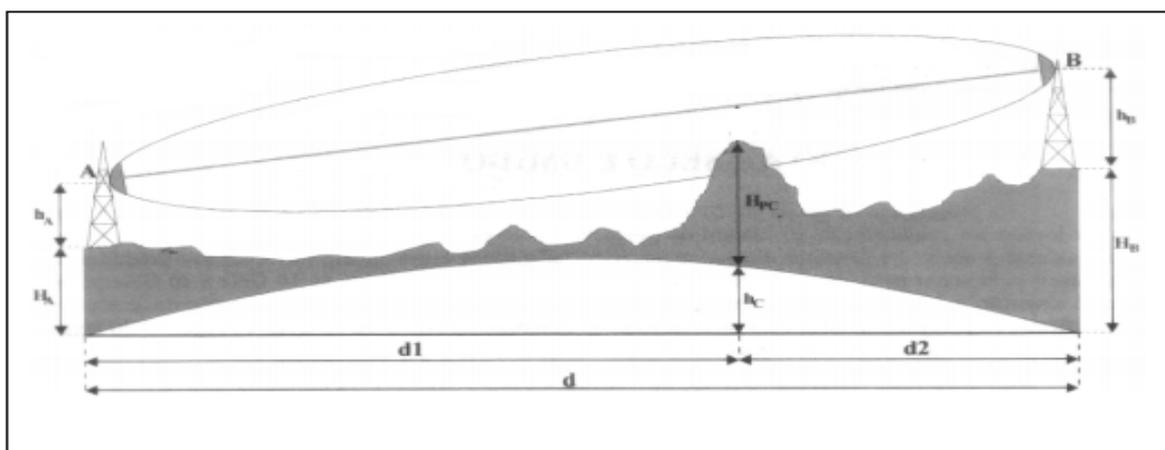


FIGURA 16 – ELEMENTOS DO CÁLCULO DA ALTURA DE TORRE.
FONTE [7].

A metodologia sugerida na recomendação basicamente consiste em arbitrar a altura de uma das torres (tornando-se assim uma altura de referência) e calculando-se então a altura da outra torre pela expressão:

$$h_B = \frac{d \cdot (H_{PC} + H_C + MC + MS - H_B) - d_2 \cdot (H_A + h_A - H_B)}{d_1} \quad [\text{m}] \text{ para } K = 4/3 \quad (9)$$

$$h_{B'} = \frac{d \cdot (H_{PC} + H_{C'} + MC + MS - H_B) - d_2 \cdot (H_A + h_A - H_B)}{d_1} \quad [\text{m}] \text{ para } K = \text{mínimo} \quad (10)$$

$$h_{B''} = 4 \times \left[\text{sen} \left(\frac{2\pi h}{\lambda} \text{sen} AE \right) \right] \quad (11)$$

Onde:

K – Fator de curvatura da terra;

d – Distância total do enlace [km];

d_1 – Distância do obstáculo à estação A [km]. Observar que o ponto a ser adotado como obstáculo nem sempre é o ponto mais alto do perfil medido em campo considerado como o crítico, uma vez que, ao fazer a correção da curvatura da Terra, o ponto do meio do enlace irá ser ampliado e, como este não é um método visual, não se saberá qual o ponto crítico. Verificar a necessidade de se testar alguns pontos entre o meio do enlace e os pontos mais altos e averiguar qual o pior caso e adotar este ponto.

d_2 – Distância do obstáculo a estação B [km] – que é a diferença entre a distância do obstáculo a estação A e a distância total do enlace;

H_A – Altitude do terreno (estação A) em relação ao nível médio do mar [m];

H_B – Altitude do terreno (estação B) em relação ao nível médio do mar [m];

H_{PC} – Altitude do obstáculo/ponto crítico em relação ao nível médio do mar [m];

h_a – Altura da antena A tomada como referência [m];

AE – Ângulo de elevação [°];

λ – Comprimento de onda [m];

MC – Margem de crescimento de árvores no ponto crítico [m]. Algumas espécies de árvores, como o pinheiro, chegam a crescer de 1,5 a 3 metros por ano. Assim, deve-se analisar se existe ou não necessidade de prever algum crescimento;

MS – Margem de segurança devido à precisão das medidas [m]; principalmente em enlaces longos e matas fechadas, as medidas de campo podem não apresentar precisões devido a dificuldades de acesso aos pontos. Essa margem de segurança do projeto deve ser cuidadosamente avaliada, pois se for acrescentado 5 metros como tal, dependendo da localização do ponto crítico, esse valor pode elevar muito a altura das torres;

HC – Correção equivalente da curvatura da Terra para $K= 4/3$ que é dado por [5]:

$$HC = H_B - \frac{d_1}{d} (H_B - H_A) - \frac{d_1 d_2}{2R'} H_{PC} \quad (12)$$

Sendo:

$$R' = K \cdot R \text{ [m]} \quad (13)$$

Onde K representa o fator de curvatura da terra e R o raio da Terra em [m].

o cálculo do Raio de Fresnel (RF) no ponto crítico em qualquer ponto do enlace é dado pela expressão:

$$RF = \sqrt{\frac{\lambda \times d_1 \times d_2}{d}} \quad (14)$$

Onde:

d_1 e d_2 são respectivamente as distâncias do ponto a ser calculado em relação às estações A e B em metros.

HC' – correção equivalente da curvatura da Terra para $K_{\text{mínimo}} + 60\%$ do raio de Fresnel no ponto crítico, que é dado por:

$$HC' = H_B - \frac{d_1}{d}(H_B - H_A) - \frac{d_1 d_2}{2R'} H_{PC} \quad (15)$$

Onde:

O HC' é calculado de forma idêntica a HC, apenas aplicando o fator K adequado respectivo. Como observação final, após o cálculo das alturas h_A e h_B , adota-se para o projeto sempre o maior valor obtido entre elas. Para que a altura das torres sejam então calculadas, deve-se realizar uma análise dos critérios de visibilidade. O critério de visibilidade é um parâmetro que sempre deve ser determinado, pois dele dependem a determinação do fator equivalente de curvatura da terra K considerado fundamental para a análise dos critérios de liberação do sinal e com o qual se determinará a altura das torres e a liberação das zonas de Fresnel. É comum em projetos de rádio enlace adotar-se o valor de $K = 2/3$ comumente chamado de K mínimo e $K = 4/3$ comumente chamado de K médio. Seguindo-se a recomendação dado por [5], que estabelece que para 99,9% do tempo deve-se utilizar um K mínimo para otimização do sistema, desprende-se desta recomendação a Tabela 3:

TABELA – 3 VARIAÇÕES DO VALOR DE K.

< 1 GHz	Entre 1 e 3 GHz	Acima de 3 GHz
30% do raio de Fresnel para $K = 4/3$ ou médio	60% do raio de Fresnel Para $K = 4/3$ ou médio	100% do raio de Fresnel Para $K = 4/3$ ou médio
10% do raio de Fresnel Para $K = \text{mínimo}$	30% do raio de Fresnel Para $K = \text{mínimo}$	60% do raio de Fresnel Para $K = \text{mínimo}$

FONTE: [5].

11) *Justificativa para a Escolha das Antenas:* O processo de escolha das antenas foi feito baseando-se em [13] e na recomendação do ETSI TR 102 243-1. Levou-se em consideração para a escolha das antenas: modelos de antenas de um mesmo fabricante, a mesma faixa de frequências, e com elementos constitutivos de mesma natureza, a sua direcionalidade, tal como a sua classe de desempenho (que justifica a discriminação da polarização cruzada), o seu ganho e a sua discriminação angular devido às derivações que serão efetuadas (informações indispensáveis no cálculo do ruído do sistema). Foram vários os tipos de antenas consultadas por pesquisa de internet e catalogo de fabricantes e várias antenas correspondem aos critérios estabelecidos. Escolheram-se então 6 antenas da Andrew, suas características técnicas foram sumarizadas na Tabela 4:

TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS DO ENLACE

Tipo de Antena	Ganho dBi	VSWR	Rej. De Polarização Cruzada (dB)		Discriminação Angular (dB)	Polarização	Frequência de Operação [GHz]
			0°	120°			
VHP6	25	1,1	30	45,5	33	H	3,5
VHP8	24	1,06	30	45	40	H/V	3,5
VHP5	27	1,09	31	45,5	34	H	5,0
VHP7	28	1,08	31	45,8	41	H/V	5,0
VHP9	32	1,05	32	46	35	H	8,5
VHP10	35	1,02	32	46,5	42	H/V	8,5

FONTE: [13].

12) *Justificativa para a Escolha dos Cabos:* A escolha do tipo de cabo que irá se utilizar no projeto também é de grande importância, pois o cabo pode ser responsável por algumas das possíveis perdas que poderão ocorrer no enlace. A escolha do tipo do cabo que se deseja esta associada à distância que o equipamento estará em relação à antena. O cálculo da perda no cabo pode ser obtido das seguintes equações, [5]:

$$A_c = \frac{1,41 \times 10^3 \left(\frac{k}{2a} + \frac{k_a}{2b} \right) \times \sqrt{f} + 100 \times p \times f \sqrt{\epsilon_r}}{z_0} \quad (16)$$

$$z_0 = \frac{138,16}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{b \times k_a}{a \times k} \quad (17)$$

$$A_c \text{ metros} = \left(\frac{A_c \times \text{altura de torre}}{100} \right) \quad (18)$$

Onde:

a – Representa o raio do condutor Interno [mm];

b – Representa o raio do condutor externo [mm];

k – Representa o fator de correção para encordoamento do condutor interno;

k_a – Representa o fator de correção para tipo de construção do condutor;

f – Representa a frequência de operação [GHz];

ρ – Representa a tangente de perdas;

z_0 – Representa a impedância do cabo [Ω];

ϵ_r – Representa a constante dielétrica [F/m].

A Tabela 5 sumariza de modo não exaustivo os tipos mais usuais de cabos para as três frequências aqui analisadas:

TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DOS CABOS DO ENLACE

Frequência	Cabo	Raio do Condutor Interno em milímetros (a)	Raio do Condutor Externo em milímetros (b)	Constante Dielétrica (ϵ_r)	Impedância Z_0	Fator de Correção para tipo de Construção do Condutor - (K_a)	Fator de Correção para Encordoamento do Condutor Interno - (K)	Tangente de Perdas (ρ)
3,5 GHz	HF 7/8"	8,3	20,1	1,00	50	1,2	1,00	0,0001
	HF 1 5/8"	7,8	12,2	1,55	50	1,5	0,98	0,0001
	CF 1 5/8"	7,5	8,3	2,30	50	2,0	0,95	0,0001
Frequência	Modelo de Cabo	Raio do Condutor Interno em milímetros (a)	Raio do Condutor Externo em milímetros (b)	Constante Dielétrica (ϵ_r)	Impedância Z_0	Fator de Correção para tipo de Construção do Condutor - (K_a)	Fator de Correção para Encordoamento do Condutor Interno - (K)	Tangente de Perdas (ρ)
5 GHz	HF 1 5/8"	8,3	20,1	1,00	50	1,2	1,00	0,0001
	HF 7/8"	7,8	12,2	1,55	50	1,5	0,98	0,0001
	HF 3 1/8"	7,5	8,3	2,30	50	2,0	0,95	0,0001
Frequência	Cabo	Raio do Condutor Interno em milímetros (a)	Raio do Condutor Externo em milímetros (b)	Constante Dielétrica (ϵ_r)	Impedância Z_0	Fator de Correção para tipo de Construção do Condutor - (K_a)	Fator de Correção para Encordoamento do Condutor Interno - (K)	Tangente de Perdas (ρ)
8,5 GHz	HF 1 5/8"	8,3	20,1	1,00	50	1,2	1,00	0,0001
	HF 7/8"	7,8	12,2	1,55	50	1,5	0,98	0,0001
	HF 3 1/8"	7,5	8,3	2,30	50	2,0	0,95	0,0001

FONTE: [5].

13) *Perda por Conector* : Representa algumas das possíveis perdas que poderão ocorrer no trajeto do sinal pelo guia de onda como ilustra a Tabela 6. Vale ressaltar que os conectores adotados foram baseados em consultas por pesquisa de internet e catalogo de fabricantes respectivo a cada frequência de estudo.

TABELA 6 – TIPOS DE CONECTORES.

Perda por Conector			
Tipo de Conector	Quantidade	Atenuação por Conector [dB]	Frequência de Operação
Type N	2	0,8	1 GHz a 4 GHz
Type M	2	0,11	5 GHz a 7 GHz
Type O	2	0,12	8 GHz a 12 GHz

FONTE: [5 e 8].

14) *Atenuação em espaço livre*: É o tipo de perda considerada a mais importante de todas as atenuações também é conhecida como perda por propagação que em forma logarítmica é representada por [8]:

$$A_e[\text{dB}] = 92,4 + 20\log(f) + 20\log(d) \quad (19)$$

Onde:

d : representa a distância entre as antenas [km];

f : representa a frequência de operação do enlace [GHz].

15) *Perda por transmissão*: Representa a perda por propagação do enlace subtraída dos ganhos totais das antenas é expressa pela seguinte equação, [8]:

$$L_0 = A_e - G_t \quad [\text{dB}] \quad (20)$$

Onde:

A_e : representa a atenuação do espaço livre [dB];

G_t : representa o ganho total das antenas [dBi].

16) *Atenuação por absorção*: Perda de absorção devido aos gases presentes na atmosfera pode ser calculado segundo a recomendação ITU-R P 676-3 de 1995. Esta resolução prevê então que a atenuação por absorção seja dada pela expressão:

$$A_{ab} = (A_{as} + A_{au}) \times d \quad (21)$$

Onde:

A_{as} : representa a atenuação específica do ar seco/oxigênio em [dB/km];

A_{au} : representa a atenuação específica do ar húmido/vapor d'água em [dB/km];

d : representa o comprimento total do enlace [km].

$$A_{as} = \left(7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f-57)^2 + 1,50} \right) \times f^2 \times 10^{-3} \quad (22)$$

$$A_{au} = \left(0,050 + 0,0021p + \frac{3,6}{(f-22,2)^2 + 8,5} + \frac{10,6}{(f-183,3)^2 + 9} + \frac{8,9}{(f-325,4)^2 + 26,3} \right) \times p \times f^2 \times 10^{-4} \quad (23)$$

Onde:

p: representa a densidade do vapor de água em grama/m³ onde a norma recomenda usar p=7,5 g/m³.

17) *Perda devido a Chuva*: Este cálculo segue o a Recomendação ITU-R P.837-6 e pode ser obtido pelas equações:

$$A_{0,01} = \gamma_r \times d_{ef} \quad (24)$$

$$d_{ef} = (d \times r) \quad (25)$$

$$r = \frac{1}{0,477 \times d^{0,633} R_{0,01}^{0,073} \times a f^{0,123} - 10,579(1 - e^{-0,024 \times d})} \quad (26)$$

Onde:

d – Representa a distância do sistema [km];

R_{0,01} – Representa a taxa de chuva excedida em 0,01% (média por ano);

d_{ef} – Representa o segmento do enlace em que esta havendo maior incidência de chuva;

r – Representa o comprimento efetivo do enlace [km];

A_{0,01} – Representa a atenuação estimada no percurso para uma porcentagem de tempo [dB].

18) *Atenuação total líquida*: Representa a atenuação total do enlace é expressa pela seguinte equação, [8]:

$$L_S = A_e + L_0 + A_{ca} + A_{cb} + A_{cnt} + A_{ab} + A_{0,01} - (G_t + G_r) \quad (27)$$

Onde:

A_e – Representa a perda no espaço livre [dB];

L₀ – Representa a perda por transmissão [dB];

A_(ca) – Representa a perda no cabo coaxial da estação A [dB];

A_(cb) – Representa a perda no cabo coaxial da estação B [dB];

A_(cnt) – Representa a perda por conectores da estação [dB];

A_{ab} – Representa a perda devido aos gases atmosféricos;

A_{0,01} – Representa a perda devido a chuva;

Gt – Representa o ganho de transmissão;

Gr – Representa o ganho de recepção.

19) *Área de Assinatura (S_w)*: O cálculo a área de assinatura de um sistema de transmissão nada mais é do que a quantificação da robustez do equipamento de recepção relativo as distorções provocadas pelos desvanecimentos seletivos. A equação geral que define este parâmetro e padronizado pela ITU-R F.1093. Para este calculo se utiliza a seguinte equação:

$$S_w = \frac{(S_m + S_{nm})}{2} \quad (28)$$

$$S_m = \frac{(\lambda_m \times B_s \times 10^{-3})}{\tau_r} \quad (29)$$

$$S_{nm} = \frac{(\lambda_{nm} \times B_s \times 10^{-3})}{\tau_r} \quad (30)$$

Onde:

S_m – Representa a área de assinatura para fase mínima;

S_{nm} – Representa a área de assinatura para fase não mínima;

λ_m – Representa a profundidade média para fase mínima;

λ_{nm} – Representa a profundidade média para fase não mínima;

B_s – Representa a largura de faixa das áreas de assinatura em [MHz];

τ_r – Representa o atraso de referência em 6,3 [ns].

20) *Margem de Desvanecimento Dispersivo*: A margem de desvanecimento dispersivo também é mais um dos fatores indicativos do estado do sistema. Ao contrário do que possa parecer esta não está associada ao nível de potência recebida no receptor. Este Parâmetro transforma os erros por distorções provocadas por múltiplos percursos (ruído) para fins de determinação da inoperância (implica diretamente na confiabilidade de todo o sistema). Para este calculo se utiliza a seguinte equação, [5]:

$$DFM = 17,6 - 10 \ln \frac{S_w}{158,4} \quad (31)$$

$$S_w = e^{\frac{-(S_m + S_{nm})}{3,8}} \times B_s \quad (32)$$

Onde:

S_w – Representa a área de assinatura.

4.6 PARÂMETROS DE POTÊNCIA

Uma vez que o enlace tenha sido dimensionado, na sequência passa-se a verificação dos níveis de sinal recebidos que vão atuar diretamente no cálculo final de confiabilidade do sistema.

21) *Limiar de Recepção ou Potência Limiar (LR)*: Representa o valor limite do nível de sinal admissível na entrada do receptor [9], [10] e [11]. Aplicando a legislação vigente para as três frequências em operação no sistema, têm-se os valores de limiar mostrados na Tabela 7:

TABELA 7 – DESTAQUE DOS LIMIARES DE RECEPÇÃO A SEREM CONSIDERADO

Frequência	Faixa de Operação	Potência Máxima Transmitida (saída do equipamento)	Tipo de Modulação	Limiar de Recepção
3,5 GHz	3400 MHz à 3600 MHz	30 W ou 44,77 dBm	16-QAM	Para um BER $\leq 10^{-3}$ LR = - 84 dBm
	3400 MHz à 3550 MHz	4W ou 36,02 dBm		Para um BER $\leq 10^{-6}$ LR = - 81 dBm
	3550 MHz à 3600 MHz	2W ou 33 dBm		
5 GHz	4400 MHz à 5000 MHz	2 W ou 33 dBm	16-QAM	Para um BER $\leq 10^{-3}$ - 72 dBm Para um BER $\leq 10^{-6}$ - 70,5 dBm
8,5 GHz	8275 MHz à 8500 MHz	1 W ou 30 dBm	16-QAM	Para um BER $\leq 10^{-3}$ - 78 dBm Para um BER $\leq 10^{-6}$ - 75 dBm

FONTE: AUTORA

22) *Potência Isotrópica Efetivamente Irrradiada*: O e.i.r.p representa uma verificação realizada para saber qual a real potência que a antena esta transmitindo (cálculo realizado para qualquer tipo de antena). Isto se deve ao fato de que parte da potência transmitida se perde nos cabos além do restante da potência sofrer a

atenuação devido ao ganho da antena. Para este cálculo se utiliza a seguinte equação, [16]:

$$e.i.r.p = (P_t + G_t) - A_{ca} \quad (33)$$

Onde:

P_t – Representa a potência transmitida em [dBm];

G_t – Representa o ganho de transmissão em [dBi];

A_{ca} - Representa a perda devido ao cabo na transmissão em [dB].

23) *Nível de Recepção Nominal ou nível de Potência Recebida*: Representa o nível de sinal na entrada do receptor não considerando possíveis desvanecimentos (possíveis multi trajetos). A equação que permite este cálculo é dada por, [8] e [16]:

$$P_R = P_t - L_s \quad (34)$$

Onde:

P_t – Representa a potência transmitida [dBm];

L_s – Representa a atenuação total do enlace [dB].

24) *Margem de desvanecimento*: Representa uma margem de segurança para o sistema. Ela correlaciona à potência recebida com a potência limiar do sistema, ou seja, quanto mais próximos os níveis estiverem um do outro, maior será a degradação do sinal, [5].

$$MD = P_R - LR \quad (35)$$

Onde

P_r – Representa a potência recebida em [dBm];

LR – Representa a potência limiar do sistema em [dBm].

25) *Margem de Desvanecimento por Interferência*: A margem de desvanecimento por Interferência (MDI) correlaciona a margem de desvanecimento (MD) subtraindo do mesmo 1 dB (valor comumente adotado como referência para cálculos de enlace

sob linha de visada) de degradação devido a interferência de outros sistemas. Para este cálculo se utiliza a seguinte equação, [5]:

$$MDI = MD - 1 \quad (36)$$

4.7 PARÂMETROS DE RUÍDO

O ruído representa um sinal que pode vir a degradar um sistema de transmissão. Os mesmos são gerados por uma série de variedades de fontes, que podem ser naturais ou artificiais. Um sistema de transmissão deve ter um nível de ruído o mais baixo possível para que o desempenho do enlace não fique degradado. Os principais tipos de ruído são [13]:

- Ruído externo (é considerado como uma propriedade do canal);
- Ruído interno (originado no próprio equipamento constitutivo do sistema).

De modo sumarizado desprende-se que:

- Os tipos mais comuns de ruído externo são: os ruídos com origem em outros equipamentos, o ruído atmosférico e o ruído espacial;
- Os tipos mais comuns de ruído interno são: o ruído térmico, o ruído *de eco* e o ruído interferente (mesma polarização e polarização cruzada).

26) *Fator de Ruído (FR)*: Segundo [8], o cálculo referente ao Fator de Ruído no receptor em [dB] é feito utilizando-se a expressão:

$$FR = 10 \cdot \log \left(1 + \frac{T}{290} \right) \quad (37)$$

Onde:

T: representa a temperatura de ruído [°K].

Pode-se sumarizar, através da Tabela 8, os valores fornecidos pela relação FR e T como segue:

TABELA 8- RELAÇÃO ENTRE A FATOR DE RUÍDO E A TEMPERATURA

Fator de Ruído	Temperatura T °K
2 dB	75
3 dB	290
4 dB	627

FONTE: [8,12].

Obs - Baseado nas fontes bibliográfica [8] e [12], foi adotado para este trabalho o FR = 3 dB.

27) *Relação Sinal/Ruído*: A relação sinal/ruído S/R expressa em [dB] representa uma relação logarítmica entre a potência recebida nos terminais do receptor com uma potência contaminada de ruído de natureza térmica. Logo a expressão que caracteriza esta relação em [dB] será, [5]:

$$\frac{S}{R} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_r}{P_n} \right) \quad (38)$$

Onde:

P_n - Representa a potência do ruído em [dB].

28) *Nível de ruído térmico*: Representa o ruído gerado pela agitação térmica de cargas no equipamento de transmissão e é dado pela expressão, [14]:

$$RT = -174 + 10 \cdot \log LB + FR \quad (39)$$

Onde:

RT – Representa o ruído térmico em 100% do tempo em [dBm];

LB – Largura de Banda.

29) *Contribuição do Ruído Térmico para 50% do tempo*: O cálculo desse parâmetro é necessário para prever o nível de ruído quando ele opera em apenas 50% do tempo. Logo a expressão que caracteriza esta relação em [dB] será, [8]:

$$\frac{S}{N_{Th_{50\%}}} = VS - (P_t + P_r) \text{ em [dB]} \quad (40)$$

Onde:

VS – Representa o valor de sistema em [dB].

Uma vez que a relação sinal ruído tenha sido determinada pode-se determinar o nível de ruído térmico em pW0p (subunidade usual para instrumentos de medição) e que é dada pela relação:

$$RTH_{50}(pW0p) = 10^{\frac{90 - \frac{S}{NTh_{50\%}}}{10}} \quad (41)$$

30) *Contribuição do Ruído Térmico para 80% do tempo*: O cálculo desse parâmetro é necessário para prever o nível de ruído quando ele opera em apenas 80% do tempo. Logo a expressão que caracteriza esta relação em [dB] será, [8]:

$$\frac{S}{NTh_{80\%}} = \frac{S}{NTh_{50\%}} - 2 \text{ em [dB]} \quad (42)$$

Uma vez que a relação sinal ruído tenha sido determinada pode-se determinar o nível de ruído térmico em pW0p pela relação:

$$RTH_{80}(pW0p) = 10^{\frac{90 - \frac{S}{NTh_{80\%}}}{10}} \quad (43)$$

31) *Temperatura Equivalente do Sistema*: O cálculo da temperatura equivalente do sistema também representa um dos parâmetros que caracterizam o ruído nos dispositivos. Logo a expressão que caracteriza esta relação em [dB] será, [5]:

$$T_s = T_A + T_c \quad (44)$$

$$T_A = 38 + \frac{100}{\phi_L} + \frac{300}{\phi_L^2} \quad (45)$$

Onde:

T_A – Representa a temperatura da antena [°K];

T_c – Representa a temperatura de ruído composta do receptor [°K];

ϕ_L – Representa o ângulo de elevação da antena [°].

32) *Relação Portadora/Ruído*: A relação portadora/ruído (C/N) expressa em [dB] indica uma possível degradação de sinal em relação ao seu nível de sinal de tolerância máxima. Esta relação se traduz por, [16]:

$$\frac{C}{N} = (e.i.r.p + 20 \times \log\left(\frac{\lambda}{3,14 \times d}\right) + L_s + G_r + A_{cb} - 10 \log(k \times T_s)) \quad (46)$$

Onde:

k – Representa a constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ [J/°K];

T_s – Representa a temperatura equivalente do sistema [°K];

C/N – Representa a relação portadora ruído em [dB];

G_r – Representa o ganho na recepção;

A_{cb} – Representa a perda no cabo coaxial da estação B;

L_s – Representa a atenuação total líquida.

33) *Ruído de Eco*: Representa um tipo de ruído interno inerente ao sistema que considera a atenuação nos guias de onda, a perda de retorno do sinal da antena, o número de canais que estão sendo considerados bem como a largura de banda destes, a velocidade de transito do sinal nos cabos e o VSWR (relação de onda estacionaria da antena). O ruído de eco pode ser determinado pela expressão, [4]:

$$\frac{S}{R_E} = 18,6 + PR_a + PR_b + 2 \times A_c + X \quad (47)$$

Onde

PR_a – Representa a perda de retorno da antena transmissora [dB];

PR_b – Representa a perda de retorno da antena receptora [dB];

A_c – Representa a atenuação no cabo por metro de comprimento [m];

$$PR = 20 \log \frac{VSWR+1}{VSWR-1} \quad (48)$$

$$X = FC_{bb} + m + \Delta\emptyset \quad (49)$$

$$FC_{bb} = -15 \times \log N \quad (50)$$

$$m = \frac{\Delta f_{ef} \times 10^{\frac{FC_{bb}}{20}}}{f_m} \quad (51)$$

$$\tau = \frac{2 \times L_{cabo}}{v_t \times c} \quad (52)$$

$$\Delta\phi = 10 \log(f_m + \tau) \quad (53)$$

Onde:

N _ Representa o número de canais considerados;

X _ Representa a atenuação por indução dentro do canal considerado [dB];

Δf_{ef} _ Representa a largura de banda do canal [MHz];

f_m _ Representa a frequência de operação do enlace [GHz];

τ _ Representa a velocidade de transito do sinal no cabo [m/s];

c _ Representa a velocidade da luz [m/s].

Logo, o ruído de eco em pW0p será:

$$RE(pWop) = 10^{\frac{90 - \frac{S}{NE}}{10}} \quad (54)$$

34) *Ruído Interferente*: É um tipo de ruído interno produzido pelo ganho das antenas, pela sua discriminação angular, pela atenuação nos conectores em função da potência transmitida e da atenuação no espaço livre. Existem dois modos de produção do ruído interferente: o ruído interferente produzido por polarização paralela e o ruído interferente por polarização cruzada.

- O ruído interferente por polarização paralela pode ser calculado pela expressão, [7]:

$$\frac{S}{NI_\phi} = 20 \text{ dB} + P_r - Y - RI_\phi \quad (55)$$

$$RI_\phi = P_t + G_A + G_B - A_e - P_{alim a} - P_{alim b} - D_\phi \quad (56)$$

Onde:

A_e _ Representa a atenuação em espaço livre [dB];

- $P_{alim a}$ – Representa a perda nos alimentadores da estação transmissora A [dB];
 $P_{alim b}$ – Representa a perda nos alimentadores da estação transmissora B [dB];
 D_{ϕ} – Representa a discriminação angular da antena [dB].

Quando se analisa o ruído no sentido da transmissão soma-se $Y = 0$ dB e quando se analisa o enlace no sentido da recepção $Y = 5$ dB. Logo, o ruído de interferente por polarização paralela em pW0p será:

$$RI_{\phi}(\text{pW0p}) = 10^{\frac{90 - \frac{S}{NI_{\phi}}}{10}} \quad (57)$$

- O ruído interferente por polarização cruzada pode ser calculado pela expressão, [7]:

$$\frac{S}{NI_{PC}} = 20 \text{ dB} + P_r - Y - RI_{PC} \quad (58)$$

$$RI_{PC} = RI_{\phi} - R_{PC} \quad (59)$$

Onde:

R_{PC} – Representa a polarização cruzada [dB].

Quando se analisa o ruído no sentido da transmissão soma-se $Y = 0$ dB e quando se analisa o enlace no sentido da recepção $Y = 5$ dB. Logo, o ruído de interferente por polarização cruzada em pW0p será:

$$RI_{PC}(\text{pW0p}) = 10^{\frac{90 - \frac{S}{NI_{PC}}}{10}} \quad (60)$$

35) *Ruído Total*: A resolução ITU G826, impõem que o patamar de ruído total (soma de todos os ruídos considerados no sistema) do sistema, independente do número de estações não deve ser superior a 47500 pW0p.

36) *Ganho do sistema ou o valor do sistema*: Regido pela Recomendação ITU-R PN. 837-1 representa o valor ideal da relação sinal-ruído na saída do transmissor que seria obtida no caso de uma ligação transmissor-receptor sem perdas. Supondo que

o transmissor esteja isento de ruídos interferentes considerando apenas a figura de ruído. Logo a expressão que caracteriza esta relação em [dB] será:

$$VS = P_t - FR - 10\log \frac{KTB}{1 \times 10^{-3}} + 20\log \frac{\Delta f_{ef}}{f_0} + 139 + c \quad (61)$$

Onde:

LB – Representa a largura de banda do receptor em [MHz];

FR – Representa o fator de ruído do receptor em [dB];

k – Representa a constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ [J/°K].

T – Representa a temperatura de ruído [°K];

B – Representa a largura de banda do canal do enlace [MHz];

c – Representa o fator psfométrico aqui considerado como sendo = 2,5 dB;

Δf_{ef} – Representa a largura de banda do canal [dB];

f_0 – Representa a frequência central do canal [MHz].

4.8 PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE

A determinação da confiabilidade de um *link* impacta na escolha dos equipamentos mais adequados para atender às necessidades do sistema.

37) *Inoperância do Sistema (k)*: A análise de desempenho de sistemas de transmissão baseia-se na estimativa da probabilidade de inoperância. Diversos métodos foram desenvolvidos para a determinação da inoperância quando o enlace fica submetido às condições anômalas de propagação, porém o que foi utilizado neste trabalho foi o recomendado pela ITU-R P.530-14. Vale ressaltar que para utilização desse método, deve-se dispor do fator geoclimático (representa a monitoração do nível do sinal recebido por um período de tempo em relação a uma região geográfica de interesse), que é determinado pela expressão, [16]:

$$k = 10^{-4,4-0,0027 \times dN_1} \quad (62)$$

Onde:

dN_1 – Representa valor estatístico do gradiente de refratividade, podem ser obtidos através da Recomendação ITU-R P.453-9.

38) *Probabilidade de Inoperância em Razão do Desvanecimento não Seletivo*: O desvanecimento não seletivo (nos sistemas de comunicação são conhecidos como desvanecimentos lentos) correspondem a variações em poucos dB's na intensidade do sinal. São causados pelos efeitos atmosféricos tais como a difração e atenuação devido à chuva, [5]. Nos sistemas de transmissão esse tipo de comportamento é conhecido como desvanecimento plano. Logo a expressão que caracteriza esta relação em [dB] será, :

$$P_{ns} = P_0 \times 10^{\frac{-MD}{10}} [\%] \quad (63)$$

$$P_0 = \frac{k}{100} \quad (64)$$

Onde:

MD – Representa a margem de desvanecimento em [dB];

k – Representa a inoperância do sistema em [%].

39) *Probabilidade de Inoperância em razão do Desvanecimento Seletivo*: É um tipo de desvanecimento causado pelos múltiplos percursos que o sinal sofre durante a sua trajetória, cuja ocorrência está associada com as condições geoclimáticas (reflexões, refrações entre outros) da região assim como da geometria do sistema. Nos sistemas de comunicação este tipo de desvanecimento é conhecido como desvanecimento rápido, pois o mesmo ocorre em frações de segundos. Logo a expressão que caracteriza esta relação em [dB] será, [5]:

$$P_s = 4,3 \times \eta \times Sw \times \tau_m^2 \quad (65)$$

$$\eta = 1 - \exp(-0,2 \times P_0^{0,75}) \quad (66)$$

$$\tau_M = 0,7 \times \left(\frac{d}{50}\right)^{1,3} \quad (67)$$

Onde:

- η – Representa o fator de ocorrência de propagação;
 τ_m – Representa o atraso médio entre dois percursos em [ns];
 d – Representa a distância do enlace [km];
 S_w – Representa a área de assinatura;
 k – Representa a inoperância do sistema [%].

40) *Probabilidade do período de Inoperância total em minutos por ano:* Considerando a União Internacional de Telecomunicações, a probabilidade de inoperância total é a soma das probabilidades de inoperância em virtude do desvanecimento não seletivo e em virtude também do desvanecimento seletivo. Logo a expressão que caracteriza esta relação em [dB] será, [5]:

$$I_\mu = (P_{ns} + P_s) \times 10^2 [\%] \quad (68)$$

Onde:

- P_{ns} – Representa a Probabilidade de Inoperância em razão do desvanecimento não seletivo [%];
 P_s – Representa a Probabilidade de Inoperância em razão do desvanecimento seletivo [%].

41) *Porcentagem de Tempo em Operação:* Se traduz como o período de tempo em que o sistema opera com níveis igual ou abaixo de um valor máximo definido como o limiar de recepção. Este período em operação pode ser determinado, unicamente em virtude dos efeitos dos desvanecimentos plano e seletivo, que pode ser determinado segundo a expressão, [8]:

$$P_{op}[\%] = (100 - I_\mu) \times 100 \quad (69)$$

Onde:

- I_μ - Representa a Probabilidade do período de Inoperância total [minutos].

42) *Porcentagem de Tempo com Falhas de Equipamento:* Que representa o número de defeitos de equipamentos terminais no ano depende basicamente das condições

de funcionamento dos mesmos. Em se tratando do cálculo de dimensionamento do sistema, a ANATEL através da resolução 542 estabelece a porcentagem de tempo máximo permitido com falhas de equipamento que é determinada pela seguinte expressão, [8]:

$$F = \frac{365}{MTBFr} \times a \times \frac{365}{MTBF} \times b \quad (70)$$

Onde:

F - Representa o número de falhas no equipamento transmissor e receptor;

a - Representa o número de transmissores no trecho considerado;

b - Representa o número de modems no trecho considerado;

MTBFr - Representa o tempo médio entre falhas de T_X e R_X em dias;

MTBF - Representa o tempo médio entre falhas no modem em dias;

43) *Tempo Total de Interrupção Devido a Falha do Equipamento*: Pode ser expressa pela seguinte equação, [4]:

$$t = F \times MTTR \quad (71)$$

Onde:

MTTR – Representam o tempo médio de reparos, normalmente tomado como sendo de 5 horas.

44) *Indisponibilidade do Sistema devido a Falhas nos Equipamentos*: Pode ser expressa pela seguinte equação, [4]:

$$Ie = \frac{MTTR}{MTTR+MTBF} \times 100\% \quad (72)$$

45) *Indisponibilidade Total do Sistema*: Pode ser expressa pela seguinte equação, [15]:

$$I_{TOTAL} = (I_p + I_e + t) \% \quad (73)$$

Onde:

I_p – Representa a indisponibilidade do sistema devido à propagação por recomendação do ITU-T G821 não deve exceder o valor de $I_p = 15,2 \times 10^{-6} \%$ para rádio enlaces até 10 GHz;

I_e – Representa a Indisponibilidade do Sistema devido a Falhas nos Equipamentos;

t – Representa Tempo Total de Interrupção Devido a Falha do Equipamento [h].

46) *Disponibilidade do Sistema*: A disponibilidade dos sistema também é estabelecida por NORMA ITU-T G25 e G22 e possui a seguinte expressão:

$$D \geq \left(100 - \frac{3L}{2500}\right) \% \text{ do tempo} \quad (74)$$

Onde:

L – Representa o limite de falhas permitido e recomendada pelo CCIR, desde que a distância do sistema seja inferior a 280 km.

47) *Confiabilidade*: Uma vez verificado que o enlace concebido atende aos critérios de interrupção, limite de falhas e disponibilidade, pode-se então proceder-se ao calculo da confiabilidade do mesmo. A confiabilidade representa a sumarização de praticamente todos os procedimentos elencados e discutidos ao longo do capítulo, [5] e [15].

$$C = 1 - \frac{1}{2} \times 10^{(-M/10)} \quad (75)$$

Onde:

M – Representa o ganho das antenas de transmissão e recepção somada a atenuação dos cabos e conectores das estações.

4.9 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram discutidos os principais aspectos relativos à concepção de um rádio enlace suas características e peculiaridades. A concepção se deu de modo detalhado com a preocupação de se assegurar, por etapas de concepção, a compreensão das mesmas e as suas particularidades. Os objetivos de concepção

foram discutidos, em relação aos níveis de recepção, assim como aos níveis de ruídos preexistentes no sistema, visando a assegurar dessa forma a determinação da confiabilidade. Os resultados desses procedimentos descritos neste capítulo serão apresentados no capítulo 5.

4.10 REFERÊNCIAS

[1] SANTOS, M.M.D.; LE SANN, J.G. **“A cartografia do livro didático de Geografia”**. Revista Geografia e ensino. Belo Horizonte, n. 7, p. 3-38. 1985.

[2] GASPAR, J. A. **“Cartas e Projeções Cartográficas”**. 3.^a Edição. Lisboa - Edições Técnicas, 2005.

[3] SITAR, **“Manual de Projetos Técnicos”**, 1^o Edição – In: <http://www.anatel.gov.br>.

[4] TERTULIANO Filho, Horacio, **“Apostila de Projetos e Rádio Enlace”**, Departamento de Engenharia Elétrica – 2010 – editora UFPR.

[5] GOMES.R.G.Geraldo **“Sistemas de Radioenlace Digitais Terrestres e por Satélite”**, Editora: Érica, São Paulo – 2013.

[6] CESAR.K.**“Organização do Espectro para Radioenlaces Ponto-a-Ponto”**, 2003.

[7] SALLES, A.A.**“Estudo de Viabilidade de Rádio Enlace”**, Universidade Federal de Porto Alegre, 2010.

[8] BARRADAS, O. **“Sistemas Radiovisibilidade”**. 2^a Edição. Editora LTC. 1978.

[9] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 369 de 19 de fevereiro de 2004: **“Aprova a Norma para Certificação e Homologação de Transmissores e Transceptores Digitais para o Serviço Fixo em Aplicações Ponto-a-Ponto nas Faixas de Frequências acima de 1 GHz.”**. In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em abril de 2014.

[10] ETSI EN 301 216. **“Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH); Low and medium capacity and STM-0 digital radio system operating in the frequency bands in the range 3 GHz to 11 GHz”**. In: <http://www.etsi.org>. Acesso em setembro de 2014.

[11] ETSI EN 301 461. “**Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; High capacity fixed radio systems carrying SDH signals (2 x STM-1) in frequency bands with 40 MHz channel spacing and using Co-channel Dual Polarized (CCDP) operation**”. In: <http://www.etsi.org>. Acesso em setembro de 2014.

[12] RIBEIRO, José Antônio. “**Engenharia de microondas: fundamentos e aplicações**”. Editora Érica, 2008.

[13] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 609 de 18 de abril de 2013: “**Aprova a Norma para Certificação e Homologação de Antenas Direcionais de Abertura**”. In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em janeiro de 2014.

[14] MIYOSHI, Edson Mitsugo; Sanches, Carlos Alberto, “**Projeto de Sistemas Rádio**”. 3ª Edição Revisada. Editora Érica. 2006.

[15] NETO, Vicente S. CAMÊLO, Heráclio, “**Engenharia de microondas: conceitos e aplicações**”. Editora FUMEC, 2006.

[16] NETO, A. “**Telecomunicações: Sistemas de Propagação de Rádio Enlace**”. Editora Érica, 1999.

CAPÍTULO 5. ESTUDO DE CASO

Resumo: *O objetivo desse capítulo é o de compilar os capítulos anteriores através de uma metodologia útil e prática que incorpore uma análise mais ampla e detalhada dos procedimentos considerados fundamentais descritos nos capítulos anteriores, dessa forma podendo contribuir com uma premissa de funcionamento de um sistema de transmissão. O estudo de caso será em um sistema ponto multiponto operando em três frequências distintas (3,5 GHz, 5 GHz e 8,5 GHz). Vale ressaltar que se pretende para tal uma abordagem a nível sistêmico em consonância com a atual legislação. Este capítulo se encerra com uma breve conclusão referente à ferramenta metodológica utilizada.*

5.1 INTRODUÇÃO

Quando a ideia é a de implantar um sistema de transmissão, devem-se levar em consideração parâmetros relevantes que garantam ao conceptor um desempenho satisfatório do sistema. Neste capítulo, será analisado o caso prático de seis *links* operando em frequências licenciadas distintas, onde se considera os principais procedimentos abordados e discutidos nos capítulos anteriores que constituem e oferecem o balizamento do processo de funcionamento de um sistema de transmissão.

O objetivo desse capítulo é o de apresentar uma metodologia que venha a contribuir com a pesquisa relacionada a área de concepção de sistemas de transmissão.

5.2 ESTUDO DE CASO BASEADO EM FAIXAS DE FREQUÊNCIA LICENCIADAS

A utilização de uma faixa licenciada deve assegurar ao operador a exclusividade do uso da mesma, proporcionando ao usuário uma probabilidade menor de interferência o que resulta em uma garantia maior em relação a qualidade de serviço. Partindo-se desta ideia foi realizado um levantamento em relação ao panorama atual dos serviços de telecomunicações oferecidos na cidade de Curitiba – Paraná como mostra a Figura 17:

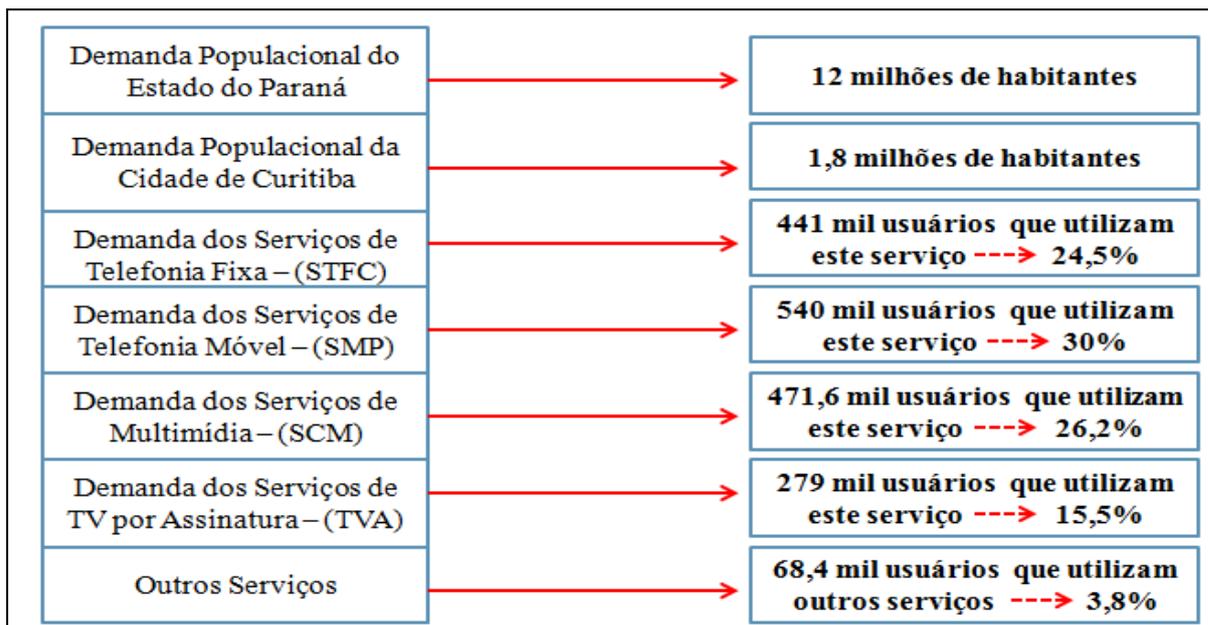


FIGURA 17 - PANORAMA ATUAL DOS SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÕES EM CURITIBA.
 FONTE: [16,18].

Baseado nas informações encontradas na Figura 17, procurou-se dentro da gama de frequência disputadas do espectro, quais seriam as faixas licenciadas que possuíam maior poluição dentro do espectro (considerando-se a demanda do número de usuários e a quantidade de serviços). Vale ressaltar que para se determinar as quantidades de usuários e de serviços por canal, foi realizado uma coleta de dados (referentes as informações mostradas na figura anterior) onde se analisou a quantidade de canais designados para cada frequência de operação assim como os possíveis serviços que poderiam trafegar na mesma. Mediante a estes dados, foi realizado uma estimativa da média aritmética para cada frequência como mostra a Tabela 9.

TABELA 9 – USO DO ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Frequência UHF	Média de Usuário por Canal	Média de demanda de Serviços por Canal
1,5 GHz	14 a 18 mil usuários	X= 12 mil serviços
2,5 GHz	15 a 19 mil usuários	X= 14 mil serviços
3,5 GHz	28 a 30 mil usuários	X=17 mil serviços
4 GHz	10 a 18 mil usuários	X=13 mil serviços
5 GHz	18 a 22 mil usuários	X=20 mil serviços
8 GHz	13 a 18 mil usuários	X=16 mil serviços
8,5 GHz	18 a 23 mil usuários	X=19 mil serviços
11 GHz	12 a 15 mil usuários	X=14 mil serviços

FONTE: AUTORA.

Verificou-se que as frequências de 3,5 GHz, 5 GHz e 8,5 GHz são as que evidenciaram maior incidência de serviços conseqüentemente, maior poluição no espectro radioelétrico, logo o critério para a escolha da faixa de trabalho fica então subentendido. O projeto deu-se em duas fases:

Na primeira projetou-se um fluxograma que serviu de base de descrição das etapas constituintes consideradas importantes na análise de um sistema. Já na segunda fase, procurou-se sintetizar a ideia do fluxograma através da implementação do mesmo em uma planilha eletrônica, etapa esta necessária e parte importante de evidência no processo de validação dos dados.

5.3 PRIMEIRA ETAPA DE CONCEPÇÃO

Primeiramente nesta etapa serão apresentados os procedimentos relevantes que descrevem os diferentes aspectos (descritos no capítulo I) que envolvem um projeto de concepção de sistemas de transmissão para aplicações, ponto a ponto ou ponto multiponto.

Do exposto, a Figura 16 representa uma proposta metodológica que foi desenvolvida com a finalidade de sintetizar uma conjugação útil e suficientemente simplificada de todos estes fatores que podem vir a impactar sobre o sistema.

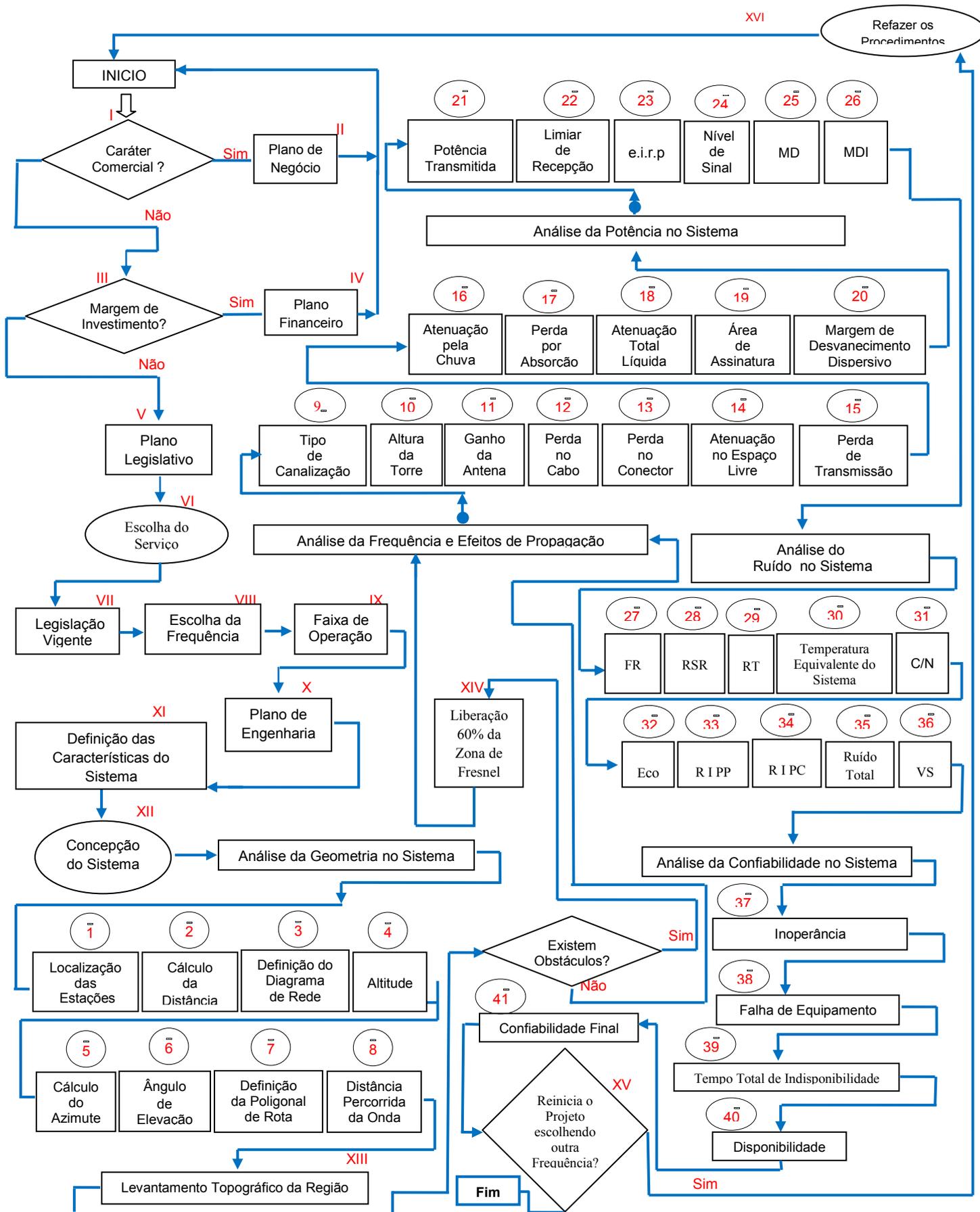


FIGURA 18 – FLUXOGRAMA PARA PROJETO DE SISTEMAS DE TRANSMISSÃO.

5.3.1 Descrição do Fluxograma

A descrição do Fluxograma apresentado como proposta de metodologia para este trabalho, segue detalhado nas Tabelas 10, 11,12,13 e 14.

TABELA 10 – DESCRIÇÃO DO FLUXOGRAMA.

Critérios		Normatizações
FASE INICIAL		
Passo I	Sistema com caráter comercial?	-----
Passo II	Recomenda-se um Plano de Negócio	-----
Passo III	Sistema com margem de investimento?	-----
Passo IV	Recomenda-se um Plano Financeiro	-----
Passo V	Plano Legislativo	-----
Passo VI	Definição do Tipo de Serviço	Específico para cada frequência
Passo VII	Legislação Vigente	Específica do tipo de Sistema
Passo VIII	Escolha da Frequência	Formulário da ANATEL - 105
Passo IX	Escolher a Faixa de Operação.	Disponibilidade do espectro
Passo X	Plano de Engenharia	-----
Passo XI	Definição das Características desejadas.	-----
Passo XII	Concepção do Sistema	Formulário da ANATEL-165
FASE FINAL		
Passo XV	Reiniciar o projeto em outra Frequência?	-----
Passo XVI	Recomenda-se refazer os procedimentos	-----

- Parâmetros de Geometria

TABELA 11 – DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO Á GEOMETRIA DO SISTEMA.

Critérios		Normatizações
Passo 1	Localização das Estações	-----
Passo 2	Cálculo da Distância Ortodrômica	ITU-R 530 – 09
Passo 3	Definição do Diagrama de Ligação de Redes	Formulário da ANATEL – 027
Passo 4	Altitude	-----
Passo 5	Cálculo do Azimute	ITU-R 530 – 09
Passo 6	Cálculo do Ângulo de Elevação	ITU-R 530 – 09
Passo 7	Definição da poligonal da rota	Formulário da ANATEL – 104
Passo 8	Cálculo da Distância Percorrida da Onda	ITU-R 530 – 09
Passo XIII	Levantamento da Topografia da Região	-----
Passo XIV	Liberção de 60% da 1ª Zona de Fresnel	ITU-R 530 – 09

- Parâmetros de Frequência e Propagação

TABELA 12 – DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO Á FREQUÊNCIA E PROPAGAÇÃO

Critérios		Normatizações
Passo 9	Definição do Tipo de Canalização	Específico para cada frequência
Passo 10	Ganho da Antena	ETSI TR 102 243 -1
Passo 11	Cálculo da Altura de Torre	ITU-R 530 – 09
Passo 12	Cálculo de Perda no Cabo	ITU-R 341-5
Passo 13	Cálculo de Perda no Conector	ITU-R 676-3
Passo 14	Cálculo da Atenuação do Espaço Livre	ITU-R 525-2
Passo 15	Cálculo da Perda por Transmissão	ITU-R 341-5
Passo 16	Perda devida absorção de Gases Atmosféricos	Resolução Anatel – nº 99
Passo 17	Cálculo da Perda devido a Chuva	ITU- R P.837-6
Passo 18	Cálculo da Atenuação Líquida	-----
Passo 19	Cálculo da Área de Assinatura do Sistema	ITU-R R F. 1093
Passo 20	Margem Desvanecimento Dispersivo - DFM	Referência TR-TSY-000752

- Parâmetros de Potência

TABELA 13 – DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO À POTÊNCIA DO SISTEMA.

Critérios		Normatizações
Passo 21	Potência Transmitida	Específico para cada frequência
Passo 22	Limiar de Recepção	Específico de cada equipamento
Passo 23	Cálculo do E.I.R.P	Específico para cada frequência
Passo 24	Cálculo do Nível de Recepção	-----
Passo 25	Cálculo da Margem de Desvanecimento	-----
Passo 26	Margem de Desvanecimento de Interferência	-----

- Parâmetros de Ruído

TABELA 14 - DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO AO RUÍDO SISTEMA.

Critérios		Normatizações
Passo 27	Fator Ruído - (FR)	ETSI EM 301 753 V1.1.1
Passo 28	Relação Sinal Ruído - (RSR)	ETSI TR 101 854
Passo 29	Cálculo do Ruído Térmico – RT para 100% do tempo	ITU-R P.372-10
	Cálculo do Ruído Térmico – RT para 50% e 80% do tempo	ITU-T G821 e ITU-T G832
Passo 30	Cálculo da Temperatura Equivalente do Sistema	-----
Passo 31	Cálculo da Relação Portadora Ruído – (C/N)	ITU-R P.372- 8
Passo 32	Cálculo do Ruído de Eco	ITU-R P.372- 8 e ITU-R P.1238 - 7
Passo 33	Ruído Interferente de Polarização Paralela - MDPP	ITU-R P.395-1
Passo 34	Ruído Interferente de Polarização Cruzada - MDPC	ITU-R 395-1
Passo 35	Ruído Total	ITU-R PN 837-1
Passo 36	Cálculo do Valor de Sistema - VS	ITU-R PN 837-1

- Parâmetros de Confiabilidade

TABELA 15 - DETALHAMENTO DO FUXOGRAMA EM RELAÇÃO À CONFIABILIDADE SISTEMA.

PARAMETROS DE CONFIABILIDADE		
Passo 37	Cálculo de Inoperância do Sistema;	ITU-R P.330-14 ITU-R F 1093-1
	Cálculo da Probabilidade de Inoperância em Razão do Desvanecimento Seletivo;	
	Cálculo da Probabilidade de Inoperância em Razão do Desvanecimento não Seletivo;	
	Cálculo da Probabilidade do Período de Inoperância Total em Minutos/Ano;	
	Porcentagem de Tempo em Operação	
Passo 38	Tempo com Falhas no Equipamento	Resolução Anatel – nº 542
Passo 39	Tempo Total de Indisponibilidade do Sistema	ITU-T G.25 ITU-T G.22
Passo 40	Disponibilidade do Sistema	Resolução Anatel – nº 542
Passo 41	Confiabilidade Final do Sistema	ITU-T G.821

5.4 SEGUNDA ETAPA DE CONCEPÇÃO

Nesta segunda fase de concepção serão descritas as características do cenário em estudo assim como serão mostrado todos os resultados que foram

obtidos. A elaboração de diagramas de níveis de sinais para verificação do funcionamento do sistema representa outro ponto de destaque nesta fase.

5.4.1 Determinação da Legislação Vigente

O espectro radioelétrico regulamentado e disponibilizado para sistemas de rádio enlaces digitais, estende-se desde 400 MHz até 38 GHz. Entretanto, a parte comercial e a mais disputada do espectro está compreendida entre 1GHz á 12 GHz. Uma vez que a estrutura física do enlace tenha sido devidamente executada escolhe-se a faixa de frequência de operação do mesmo, que basicamente é determinada em função do tipo de serviço que se pretende utilizar. A Tabela 16 sumariza os principais aspectos que devem ser retratados em um plano legislativo.

TABELA 16 – LEGISLAÇÃO VIGENTE

Plano Legislativo			
Frequência	Serviço	Faixa de Operação	Normatizações
3,5 GHz	Voz e Dados	3550 MHz á 3555 MHz	Recomendação ITU-R F.382-7 e Resolução da Anatel 537
5 GHz	Voz e Dados	4430 MHz a 4730 MHz	Recomendação ITU-R F.382-7 e Resolução da Anatel 495
8,5 GHz	Voz e Dados	8286 MHz a 8412 MHz	Recomendação ITU-R F.382-7 e Resolução da Anatel 106

FONTE:AUTORA

5.5 DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DESEJADAS

Pretende-se neste item justificar as escolhas relativas ao projeto de sistema de transmissão que se deseja implementar. Para tal, os fatores considerados mais relevantes para o sistema são elencados e discutidos antes de se realizar sua sumarização. Desprendem-se então os seguintes pontos a serem discutidos.

- Objetivo do projeto: planejamento de um sistema de transmissão experimental ponto multiponto (estações fixas);
- Ponto de partida: lei geral das telecomunicações, normas vigentes da ANATEL e do ITU-T, e normas municipais da Prefeitura de Curitiba;
- Etapas do Projeto:
 - ✓ Projeto preliminar da rota: resultado do levantamento das *API's* do *Google Earth* por inspeção visual considerou-se que o enlace a ser desenvolvido

deveria contemplar um lance dentro da região urbana densa, urbana, suburbana e rural;

- ✓ Previsão e escolha dos equipamentos terminais (quantidade e tipo): a previsão inicialmente feita considerou quatro torres, seis antenas, quatro equipamentos transmissores e receptores, cabos, guias e atenuadores;
- ✓ Projeto Técnico: O projeto técnico deve conter todos os dados necessários para a aprovação do enlace segundo as normas vigentes
- ✓ Critérios recomendados: os critérios técnicos fundamentais dizem respeito aos critérios de qualidade, bem como a confiabilidade do sistema projetado de operar dentro do limite de falhas e de ruído imposto pela legislação vigente. Foram utilizadas recomendações internacionais da ITU_T bem como as normas técnicas da ANATEL para o projeto deste:
 - Croquis da rota: após análise das possibilidades de modo visual e por teste de propagação, procurou-se seguir a orientação de rodovias existentes, sendo que se evitou a escolha de rotas maiores que 50 km por limitações impostas pelas frequências utilizadas.
 - Escolha preliminar das estações: procurou-se na medida do possível a intervisibilidade das estações mesmo que para isso torres mais elevadas tivessem que ser utilizadas bem como equipamentos com maior sensibilidade, antenas de maior ganho e cabos de baixa perda.
 - Critérios para definição da rota: o critério de escolha da rota por inspeção visual fornece no final uma localização precisa das estações, altura e posicionamento das antenas nas torres, consideração mínima acerca do terreno através de testes de propagação, considerações acerca da vegetação, proximidade de aeródromo, proximidade de outras estações tais como radiodifusão ou televisão.
 - Critérios de desobstrução: o objetivo foi o de livrar o feixe de propagação considerando-se o pior e o melhor caso (pois não se conhecia *a priori* os dados de propagação da região). Logo se adotou $K=4/3$ (equivalente a 100% de liberação das zonas de

Fresnel) e K =mínimo (equivalente a 60% de liberação das zonas de Fresnel).

- Altura da Torre: a legislação municipal da cidade de Curitiba proíbe instalação de torres acima de 100 m. Não foi encontrada nenhuma restrição quanto à cidade de São Luiz do Purunã. Os cálculos feitos levaram em consideração o fato de que as antenas deveriam ficar no mínima 15 m do solo para evitar a indução de ruído de ignição, que é um tipo de ruído produzido pela antena nos equipamentos em funcionamento dentro de *containers*.
- Sistema de várias antenas: garantiu-se ao longo do projeto desobstrução para todas as antenas e para tal posicionou-se a antena mais alta a 4 m (valor comumente adotado para este tipo de sistema) abaixo do topo da torre para todos os trechos em derivação visando garantir desobstrução total do sinal.
- Condições de propagação: foram realizados todos os cálculos de propagação admitindo-se condições normais após verificação de possíveis obstruções.
- Limiares de recepção: Respectivo a cada frequência de operação neste trabalho analisado conforme o exposto na Tabela 7 do capítulo 4.

5.6 DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES

Como o objetivo neste ponto é a projeção de um sistema ponto multiponto (estações fixas), onde serão analisados seis *links* em distâncias distintas cobrindo a região urbana densa, urbana, suburbana e rural do estado do Paraná. Foi utilizado para este cálculo a Eq.(1) apresentada no capítulo 4 e os pontos escolhidos foram sumarizados na Tabela 17:

TABELA 17 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Ponto A Graus	Lat	- 25,4497	- 25,4699	- 25,4598	- 25,4216	- 25,4216	- 25,2666
	Long	- 49,2339	- 49,2339	- 49,2339	- 49,2892	- 49,2892	- 49,2233
Ponto B Graus	Lat	- 25,4216	- 25,2666	- 25,4722	- 25,2666	- 25,4722	- 25,4722
	Long	- 49,2892	- 49,2233	- 49,6392	- 49,2233	- 49,6392	- 49,6392

Onde:

CP: representa a estação denominada Centro Politécnico;

M: representa a estação denominada Mercês;

C: representa a estação denominada Colombo;

SLP: representa a estação denominada São Luiz do Purunã;

5.7 DETERMINAÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS ENLACE

Considerou-se que o sistema a ser desenvolvido deveria contemplar um lance dentro da região urbana densa, região urbana, suburbana e rural do Estado do Paraná, conseqüentemente as distâncias seriam distintas, obedecendo apenas ao critério de não ultrapassar o limite 50 km de distância. Para determinar este parâmetro foi empregado as Eq. (2) e (3) do capítulo precedente, do exposto a Tabela 18 sumariza as distâncias consideradas para análise:

TABELA 18 – RESULTADO DAS DISTÂNCIAS DOS LINKS

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Distância Ortodrômica	Δ (graus)	0,057426	0,1835708	0,3665950	0,1660419	0,3200488	0,4283745
	D (km)	6,39019	20,42702	40,79323	18,47648	35,61375	47,667807

5.8 DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES DOS TERRENOS

A determinação da altitude do terreno deu-se pelo uso das API's do *Google Earth*. A Tabela 19 sumariza a altitude do terreno.

TABELA 19 – RESULTADO DAS ALTITUDES DO TERRENO.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Altitudes (m)	Ponto A	910	910	910	930	925	910
	Ponto B	918	1108	1189	1110	1133	1189
	Ponto Crítico	923	936	950	950	987	950

5.9 DEFINIÇÃO DO DIAGRAMA DE LIGAÇÃO DE REDE

Para este estudo considerou-se que as estações do sistema dos bairros de Mercês (M02) e de Colombo (C03) assumiram a posição de estações experimentais inicialmente enquanto que na derivação do sistema optou-se por duas estações terminais, uma no Centro Politécnico (CP01) e a outra em São Luis do Purunã (SLP04). A opção de escolha de fechamento do sistema multi ponto por estações terminais não permite derivações sendo possível expansão apenas nas estações experimentais M02 e C03 como ilustra a Figura 19:

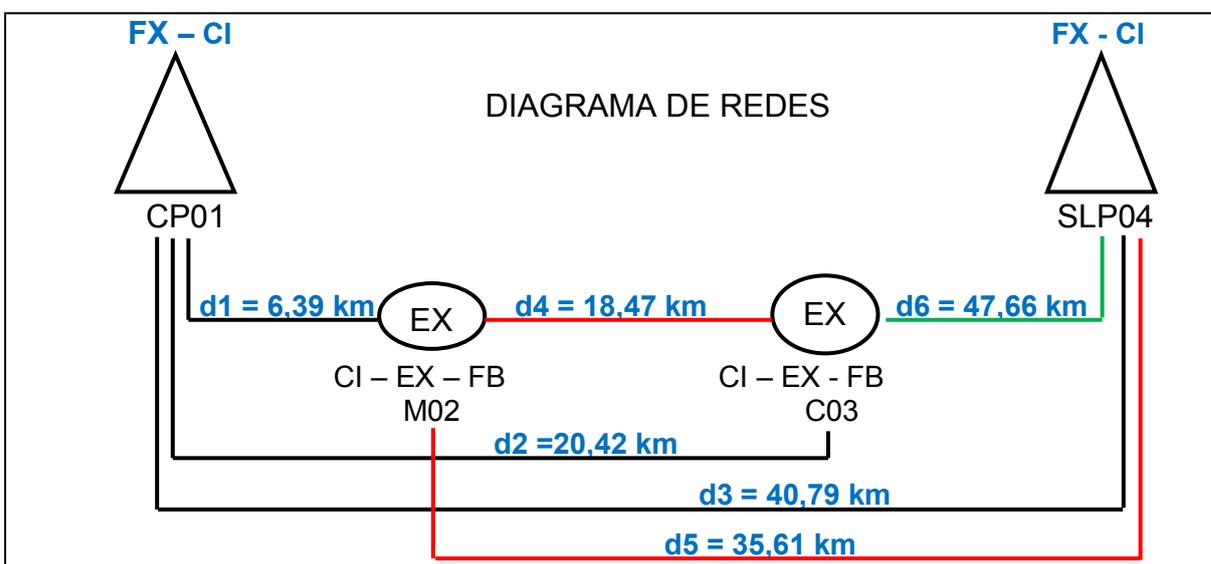


FIGURA 19 - DIAGRAMA DE REDES.
FONTE: AUTORA.

5.10 DETERMINAÇÃO DOS AZIMUTES

A partir das localizações das estações do sistema evidenciam-se os resultados referentes ao azimute que foram obtidos através das Eq. (4),(5) e (6) do capítulo anterior. A Tabela 20 mostra os valores encontrados :

TABELA 20 – RESULTADO DOS AZIMUTES DOS LINKS.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Azimute em A e B (graus)	B→A	119,5814	3,00115	86,5988	21,04584	80,97046	61,40305
	A→B	299,5577	182,9966	266,4245	201,0176	260,8201	241,2248

5.11 DETERMINAÇÃO DOS ÂNGULOS DE ELEVAÇÃO

De acordo com a posição das estações determinou-se o ângulo de elevação pela Eq.(7) mostrada no capítulo 4. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 21:

TABELA 21 – RESULTADO DO ÂNGULO DE ELEVAÇÃO DAS ESTAÇÕES.

Ângulo de Elevação (°)	Δ	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
		AE (graus)	0,05742	0,18357	0,366595	0,166041	0,320048
		-0,00717	-0,02294	-0,04582	-0,02075	-0,04000	-0,05354

5.12 DETERMINAÇÃO DO POLIGONAL DE ROTA

A Figura 20 mostra o poligonal definido para os *links* CP01- M02 e CP01- C03 deste sistema:

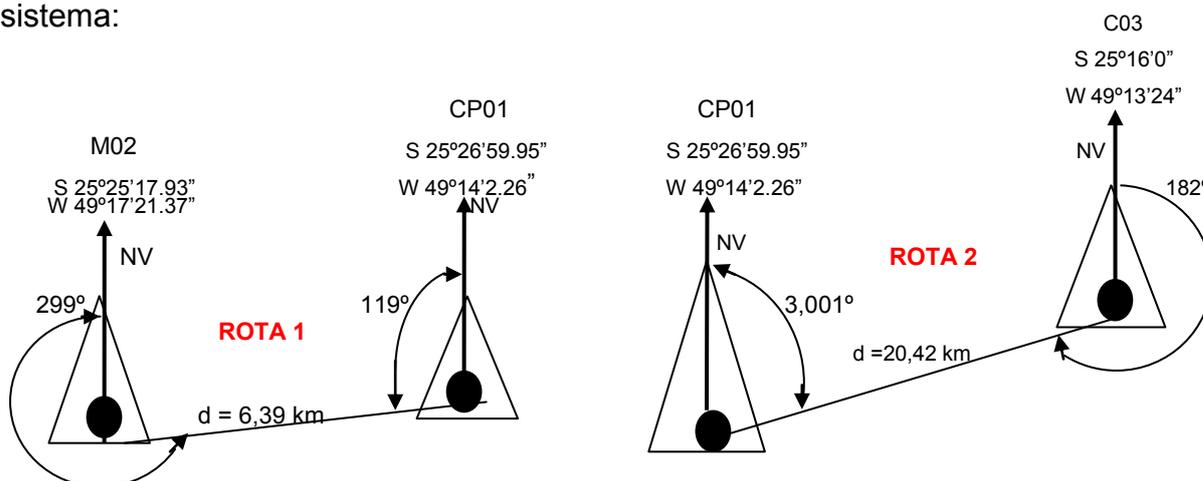


FIGURA 20 - POLIGONAL DA ROTA PARA OS TRECHOS CP01-M02 E CP01-C03.
FONTE: AUTORA.

A Figura 21 mostra o poligonal definido para os *links* CP01- SLP04 e M02 – C03 deste sistema:

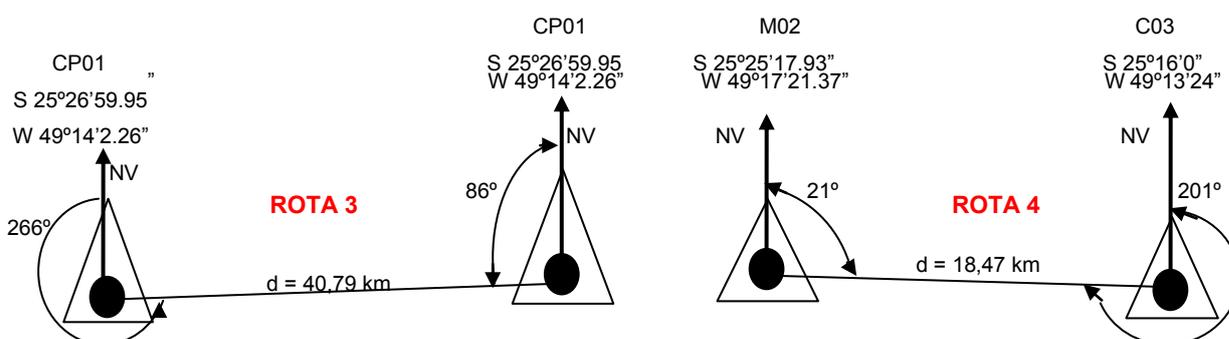


FIGURA 21 - O POLIGONAL DA ROTA PARA OS TRECHOS CP01- SLP04 E M02 – C03.
FONTE: AUTORA.

A Figura 22 mostra o poligonal definido para os *links* M02-SLP04 e C03 – SLP04 deste sistema:

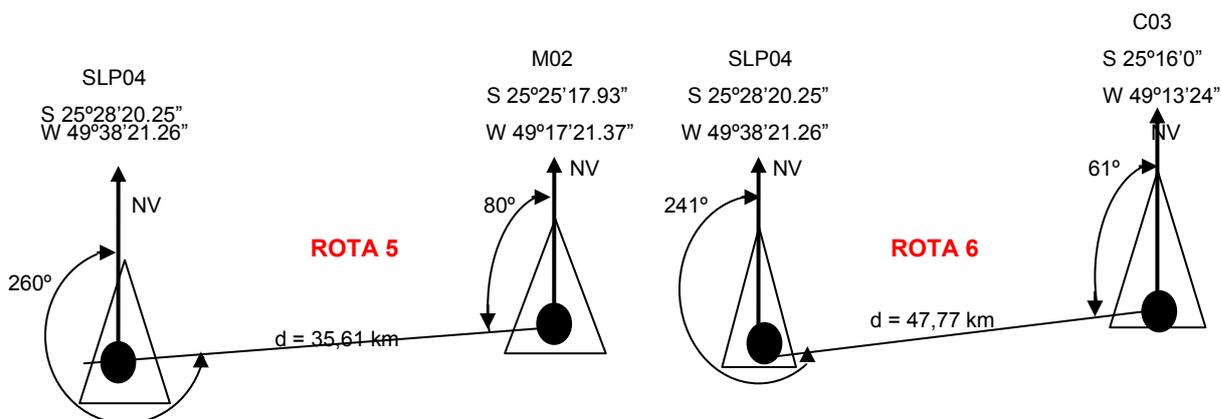


FIGURA 22 - POLIGONAL DA ROTA PARA OS TRECHOS M02-SLP04 E C03 – SLP04.
FONTE: AUTORA.

5.13 DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA DA ONDA

A partir das informações referentes à posição, os azimutes e o ângulo de elevação de elevação das respectivas estações, calcula-se a distância percorrida da onda pela Eq. (8) descrita no capítulo precedente. Os valores encontrado estão apresentados na Tabela 22:

TABELA 22 – RESULTADO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA DA ONDA DAS RESPECTIVAS ESTAÇÕES.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Distância Percorrida	DT (km)	6,435854	20,57297	41,08465	18,60849	35,86818	48,0083

5.14 ANÁLISE GRÁFICA

Uma vez tendo sido verificado os resultados em relação à geometria do sistema pode-se observar também o resultado visual utilizando a ferramenta *Google Earth* das estações de transmissão e recepção como mostra a Figura 23:

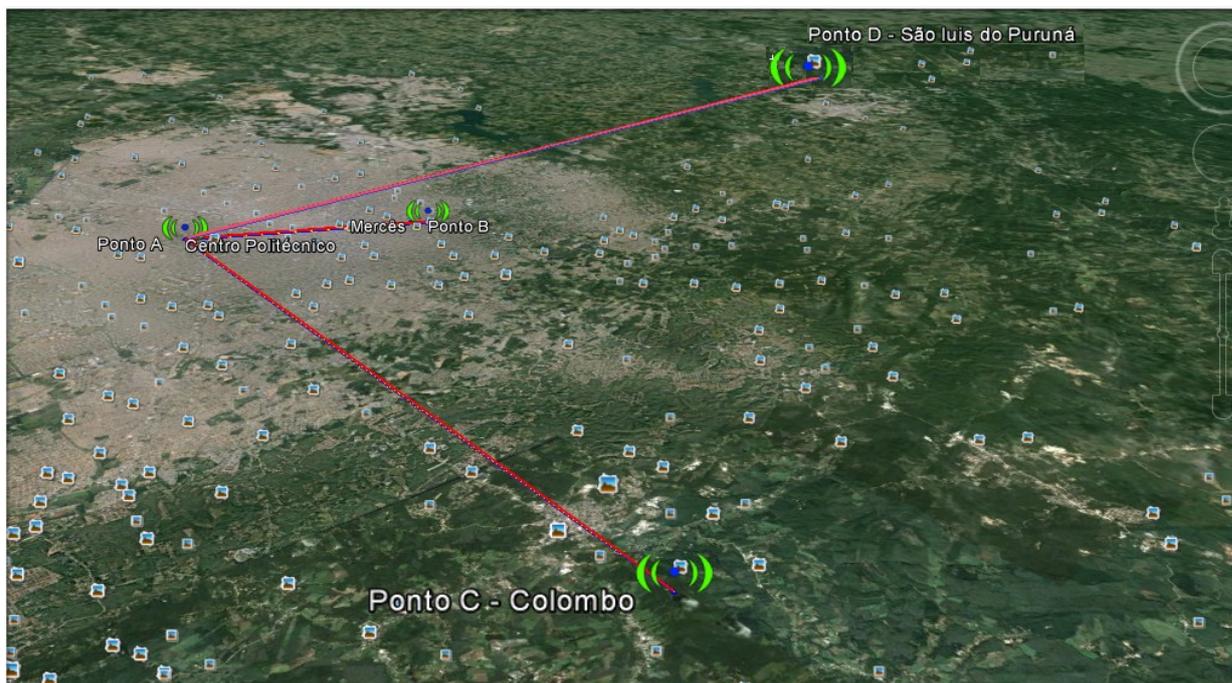


FIGURA 23- ILUSTRAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES UTILIZANDO A FERRAMENTA GOOGLE EARTH.

Assim como também pode se visualizada as estações através da ferramenta do *Matlab*[®] como mostra a Figura 24:

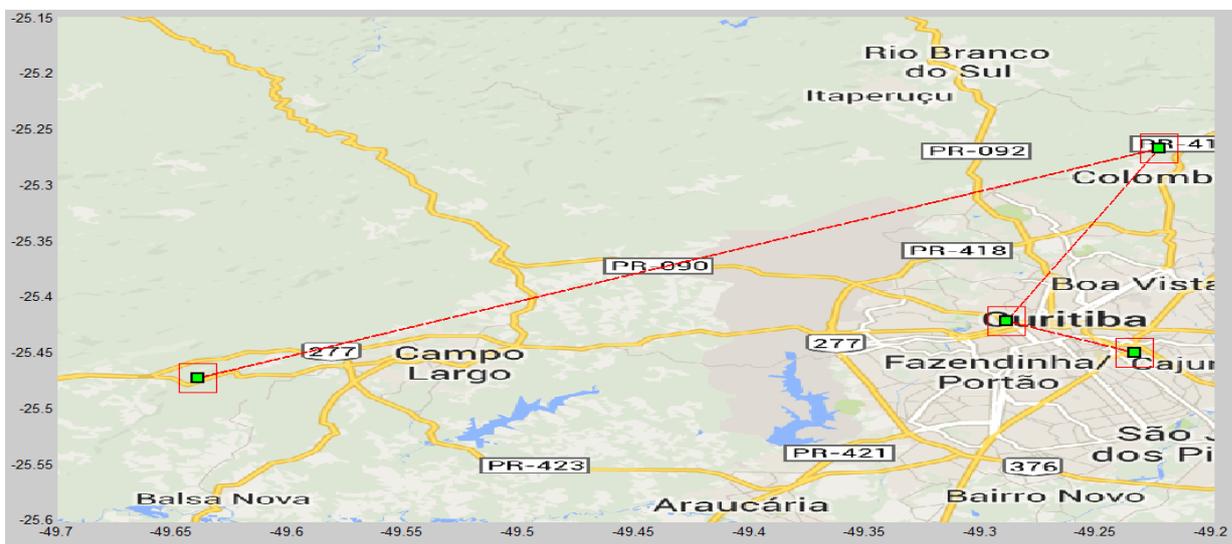


FIGURA 24 - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES UTILIZANDO A FERRAMENTA *MATLAB*[®] FONTE: AUTORA.

A elevação do terreno entre as estações de transmissão e recepção dos links analisados para fins de liberação das zonas de Fresnel foram implementados na

ferramenta do *Matlab*® e podem ser observadas nas Figuras 23, 24 e 25 respectivamente:

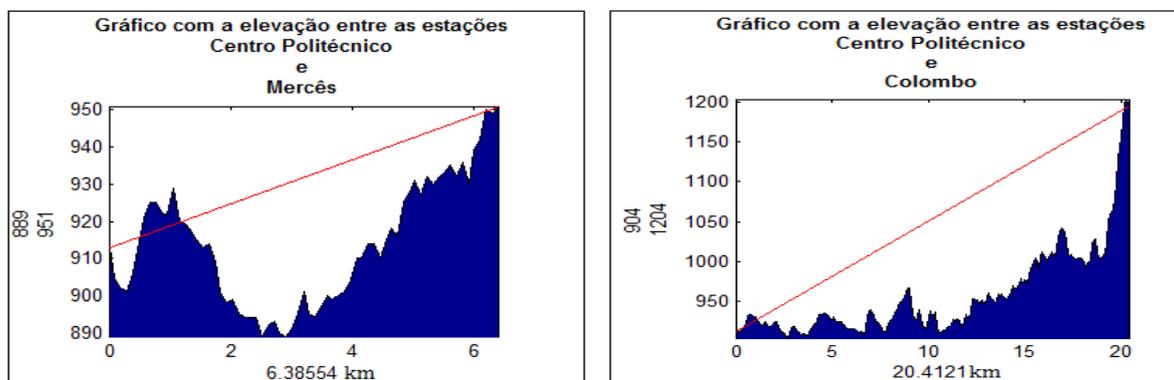


FIGURA 25 - GRÁFICO DOS PERFIS DO TERRENO PARA O *LINK* CP-M E PARA O *LINK* CP-C. FONTE: AUTORA.

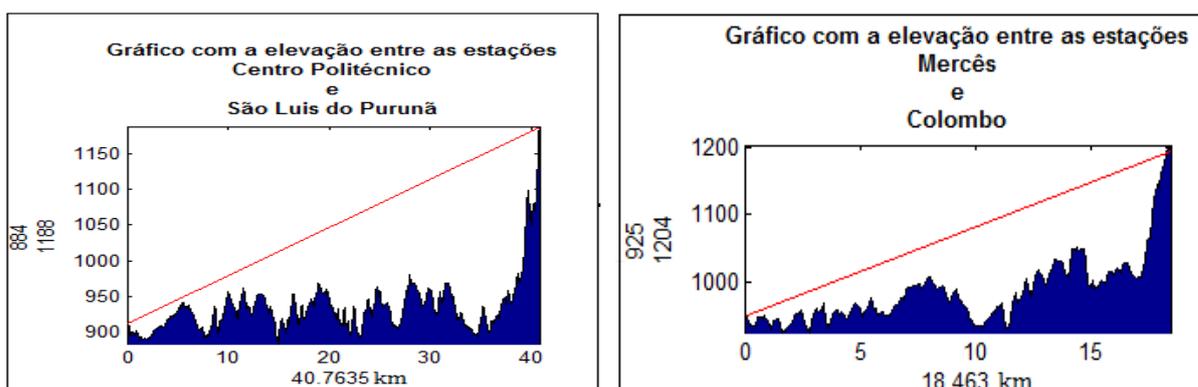


FIGURA 26 - GRÁFICO DOS PERFIS DO TERRENO PARA O *LINK* CP-SLP E PARA O *LINK* M-C. FONTE: AUTORA.

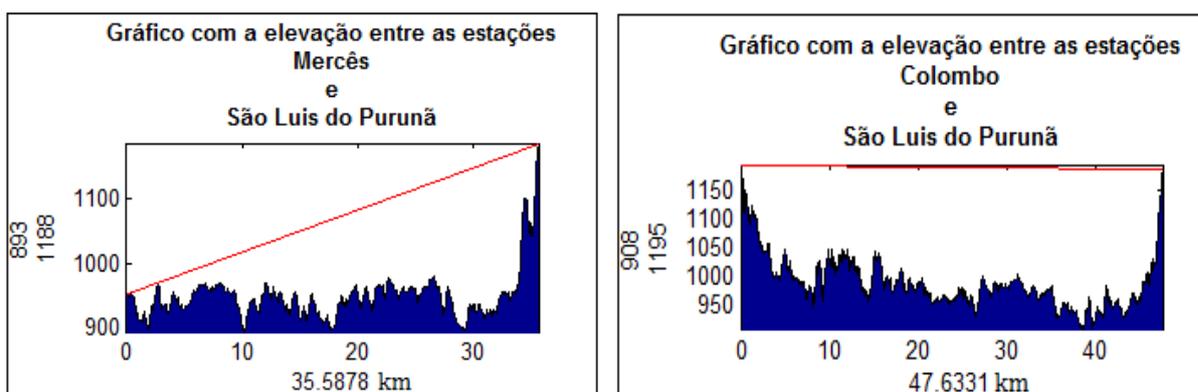


FIGURA 27 - GRÁFICO DOS PERFIS DO TERRENO PARA O *LINK* M-SLP E PARA O *LINK* C-SLP. FONTE: AUTORA.

5.15 DETERMINAÇÃO DAS DISPOSIÇÕES DE CANAIS

De acordo com que foi descrito no capítulo 4, observa-se que os esquemas de canalizações conhecidos também como modelos de disposições de canais devem amparar uma ampla gama de largura de faixas em função das várias taxas de transmissões possíveis, que conseqüentemente implicará diretamente na quantidade de canais destinados a um determinado serviço.

Do exposto sumarizam-se na Tabela 23 os tipos de disposições de canais destinados pela legislação as frequências de operação analisadas neste projeto:

TABELA 23- DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS REFERENTES À DISPOSIÇÃO DOS CANAIS ATRIBUÍDOS AS FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO ANALISADAS.

FREQUÊNCIA	CANALIZAÇÃO	FAIXA DE OPERAÇÃO	DISPOSIÇÃO DE CANAIS	LARGURA DE FAIXA	DISTÂNCIA ENTRE PORTADORAS
3.5 GHz	$F_n = F_o + n \times 5 \text{ MHz};$ $F_{n'} = F_{o'} + n \times 5 \text{ MHz};$ $N = 1, 2, \dots, 40$	3550 MHz á 3555 MHz	-----	105 MHz	5 MHz
5 GHz	$F_n = F_o + n \times 40 \text{ MHz};$ $F_{n'} = F_{o'} + n \times 40 \text{ MHz};$ $N = 1, 2, \dots, 7$	4430 MHz a 4730 MHz	Diversidade de Polarização	300 MHz	40 MHz
			Reuso Pleno de Frequência e com Diversidade de Polarização		
8.5 GHz	$F_n = F_o + n \times 7 \text{ MHz}$ $F_{n'} = F_{o'} + n \times 7 \text{ MHz}$ $F_o = 8279 \text{ e } F_{o'} = 8405$ $N = 1, 2, \dots, 12$	8286 MHz a 8412 MHz	Diversidade de Polarização	126 MHz	7 MHz
	$F_n = F_o + n \times 14 \text{ MHz}$ $F_{n'} = F_{o'} + n \times 14 \text{ MHz}$ $F_o = 8279 \text{ e } F_{o'} = 8398$ $N = 1, 2, \dots, 6$	8293 MHz a 8412 MHz	Reuso Pleno de Frequência e com Diversidade de Polarização	119 MHz	14 MHz

FONTE: [7],[8] e [9].

De acordo com as informações descritas na tabela anterior, é possível notar que para a frequência de 3,5 GHz a legislação vigente não disponibiliza nenhum tipo de modelo de disposição de canais destinada à faixa. Por este motivo procurou-se

então, o desenvolvimento de um modelo que atendesse as imposições deste projeto. Para tal, o modelo adotado foi do tipo reuso pleno de frequência com Diversidade de Polarização tornando dessa forma o sistema de transmissão projetado adequado a suportar serviços com taxas de transmissão permitida dentro da largura de banda existente que, para o caso da frequência de 3,5 GHz se limita a 5 MHz. Do exposto, segue a Figura 28 que ilustra o tipo de disposição escolhida:

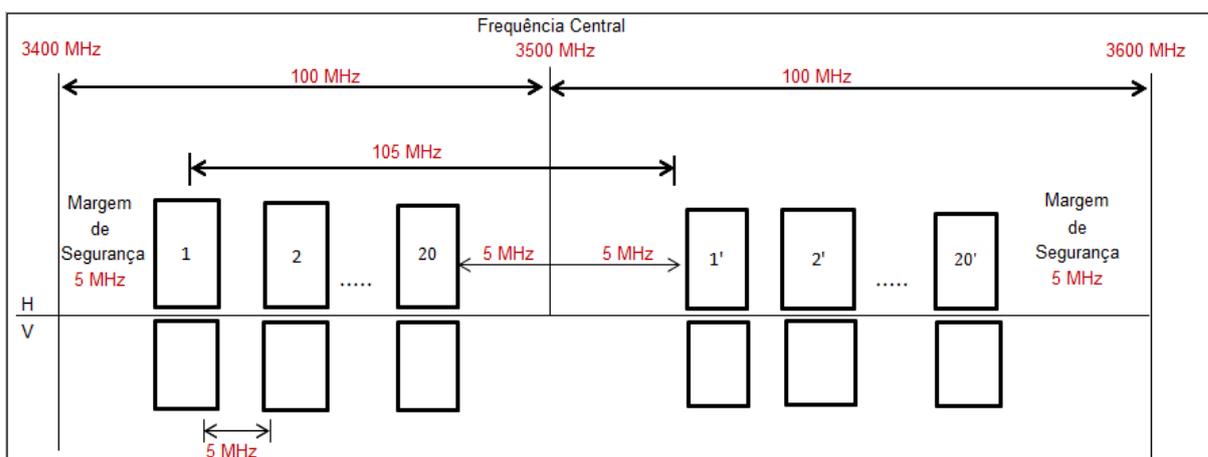


FIGURA 28 - PROPOSTA DE DISPOSIÇÃO DE CANAIS PARA FREQUÊNCIA DE 3.5 GHz.
FONTE: AUTORA.

5.16 DEFINIÇÃO DA ALTURA DE TORRE

Após análise do critério de visibilidade que considera que para o pior caso haja a liberação de 60% da Zona de Fresnel foi possível calcular através das Eq. (9),(10) e (11) a altura de torre. Os resultados correspondentes se encontram na Tabela 24:

TABELA 24 - RESULTADO DAS RESPECTIVAS ALTURAS DE TORRE PARA AS TRÊS FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO.

ALTURA DE TORRE (metros)	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	hB (f1)	66,80	66,68	72,66	48,69	54,89	129,84
	hB (f2)	75,05	70,46	100,22	69,83	77,44	136,35
	hB (f3)	84,93	87,69	123,58	90,96	81,63	141,81
	Quando k=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	hB (f1)	80,40	89,020	159,84	51,970	111,29	137,49
	hB (f2)	85,39	102,75	143,34	78,240	97,71	148,01
	hB (f3)	91,32	131,47	133,03	113,54	104,30	159,12
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	hB (f1)	78,71	78,63	84,864	60,406	66,94	142,57
hB (f2)	86,98	82,47	112,37	81,723	89,43	150,08	
hB (f3)	96,89	99,81	131,46	103,02	93,65	152,51	

Com o objetivo de se avaliar o melhor cenário (o sistema ser o menos oneroso possível) foi fixado como recomendação para este projeto que a altura de torre tivesse no mínimo 30 metros (grande parte das torres em Curitiba possuem esta altura) e no máximo 82 metros. Neste caso, após a verificação dos resultados obtidos observou-se que para alguns dos trechos como por exemplo o *link* 6, apresentou seus valores todos acima do limite máximo estabelecido assim como o *link* 3 que também exibiu quase todos os seus resultados (único cenário satisfatório foi referente a condição no qual $k=4/3$ e na frequência em operação neste caso sendo 3.5 GHz) acima do recomendado. Para casos assim, foi adotado como uma proposta de solução a instalação de repetidoras no percurso de transmissão. A partir dessas informações foi recalculado as alturas de torres e seus resultados se encontram na Tabela 25:

TABELA 25- RESULTADO DAS ALTURAS DE TORRE PARA CONSIDERANDO REPETIDORAS EM SEU TRAJETO.

ALTURA DE TORRE (metros)	Quando $K = 4/3$ Recomendado	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	hB (f1)	ok	ok	ok	ok	ok	64,92
	hB (f2)	ok	ok	50,11	ok	ok	68,17
	hB (f3)	42,46	43,84	61,79	45,48	ok	70,90
	Quando $k=\text{mínimo}$ Recomendado	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	hB (f1)	ok	44,51	79,92	ok	55,64	68,74
	hB (f2)	42,69	51,37	61,67	ok	48,75	74
	hB (f3)	45,66	65,73	66,51	56,77	52,15	79,56
	Quando $K = \text{ideal}$ Recomendado	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	hB (f1)	ok	ok	42,43	ok	ok	71,28
hB (f2)	44	41,23	56,18	ok	44,71	75,4	
hB (f3)	49	49,90	65,63	51,51	46,82	76,25	

5.17 DETERMINAÇÃO DAS PERDAS DEVIDO AO CABO

Os resultados apresentados são referentes à perda que o sinal sofre devido às características do cabo. Este parâmetro foi calculado através da Eq. (16) para os diferentes tipos de cabo usualmente utilizado para cada uma das frequências aqui abordadas. Por motivo de estruturação do documento será mostrado aqui apenas os valores obtidos dos cabos que apresentaram as menores perdas. Os demais

resultados podem ser verificados no ANEXO I. Do exposto segue os valores encontrados na Tabela 26:

TABELA 26 - RESULTADO DAS PERDAS DEVIDO AO CABO CONSIDERANDO AS RESPECTIVAS ALTURAS DE TORRE PARA AS TRÊS FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO.

Perda no Cabo em [dB]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcAB (f1)	6,80	5,07	7,35	6,11	6,41	8,83
	PcBA (f2)	7,86	6,27	7,96	8,51	8,94	10,40
	PcCA (f3)	9,74	9,45	12,11	11,66	11,97	12,35
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcAB (f1)	6,94	6,13	9,49	7,27	9,09	11,57
	PcBA (f2)	7,95	8,10	10,41	9,98	10,09	12,84
	PcCA (f3)	10,87	12,70	14,81	13,33	13,65	13,94
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcAB (f1)	6,88	5,63	7,93	6,67	6,98	9,20
	PcBA (f2)	7,93	6,95	8,65	9,18	9,62	11,86
	PcCA (f3)	9,81	10,35	13,69	12,55	12,86	13,52

Estes resultados mostrados na tabela anterior foram obtidos pelos modelos de cabo HF 7/8" e HF 1 5/8" (respectivo a cada frequência como é mostrado na Tabela 5 do capítulo 4) pois os mesmos, foram os que apresentaram as menores valores de atenuação. Perdas no cabo de até 10 dB representa segundo [3], o limite "ideal" para enlaces de comprimento de até 40 km recomendado á frequências que variem de 3 GHz a 7 GHz .

Após a fase de avaliação dos resultados constatou-se que apenas o *enlace* CP-M apresentou sua perda em torno ≤ 10 dB para todos os cenários de análise, enquanto que para os demais *links*, houve uma oscilação acima do limite em alguns decibéis em determinados cenários. Para estas situações nos quais os valores obtidos ficaram acima do recomendado, como por exemplo no *link* C-SLP na frequência de 5 GHz que apresentou perdas maiores que 10 dB apenas no cenário no qual a distância do enlace era maior que 40 km (fora da condição ideal), foram considerados como valores não ideais, porém aceitáveis, pois levou-se em conta o embasamento teórico de que todo conceceptor projeta seu sistema dentro de uma margem de tolerância (para este sistema considerou-se uma margem ate 5 dB acima do limite) que prevê justamente estes tipos de contratempos. Vale ressaltar que esta mesma ponderação que foi realizada para a frequência de 5 GHz em distâncias maiores que 40 km foi feito também para frequência de 8,5 GHz, apesar

de que para este caso a condição estabelecida por [3], não favorece essa frequência de operação.

5.18 RESULTADO DAS ATENUAÇÕES DO ESPAÇO LIVRE

O resultado referente à atenuação sofrida no espaço livre foi obtida pela Eq.(19) e foi calculada para as três frequências de operação de estudo deste trabalho como mostra a Tabela 27:

TABELA 27- RESULTADO DA ATENUAÇÃO DO ESPAÇO LIVRE REFERENTE AOS SEIS LINKS.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Atenuação no Espaço Livre [dB]	A_0 (f1)	119,3916	129,4854	135,4931	128,6137	134,3137	136,8458
	A_0 (f2)	122,4896	132,5835	138,5911	131,7117	137,4117	139,9439
	A_0 (f3)	127,0986	137,1924	143,2001	136,3207	142,0207	144,5528

Mediante aos resultados obtidos entende-se, que para o cálculo da atenuação do espaço livre deve-se ter em mente o fundamento conceitual de que a frequência e a distância são diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior a frequência e a distância, maior será atenuação no percurso da propagação do sinal, considerando o melhor cenário de propagação que é sob linha de visada direta. Do exposto os valores encontrados estão de acordo com o que se espera.

5.19 DETERMINAÇÃO DAS PERDAS POR TRANSMISSÃO

Uma vez que obtido o resultado da atenuação do espaço livre determina-se o cálculo da perda por transmissão. Do exposto a Tabela 28 sumariza os resultados calculados pela Eq.(20).

TABELA 28 - RESULTADO DA PERDA DE TRANSMISSÃO REFERENTE AOS SEIS LINKS.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
PERDA POR TRANSMISSÃO [dB]	A_N (f1)	70,3916	80,4854	86,4931	79,6137	85,3137	87,8458
	A_N (f2)	67,4896	77,5835	83,5911	76,7117	82,4117	84,9439
	A_N (f3)	55,4896	65,5835	71,5911	64,7117	70,4117	72,9439

5.20 RESULTADO DAS ATENUAÇÕES DEVIDO AOS GASES ATMOSFÉRICOS

O resultado obtido dessa atenuação prevê a absorção do sinal (caso ocorra) de um sistema terrestre devido a gases presentes na atmosfera foi calculada através da Eq.(21) como mostra a Tabela 30:

TABELA 29 - RESULTADO DA ATENUAÇÃO DEVIDO AOS GASES ATMOSFÉRICOS.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
PERDA DEVIDOS AOS GASES ATMOSFERICOS [dB]	$A_{ab}(f1)$	0,0383	0,1225	0,2447	0,4463	0,2136	0,2860
	$A_{ab}(f2)$	0,0575	0,1838	0,3671	0,9883	0,3205	0,4290
	$A_{ab}(f3)$	0,0830	0,2655	0,5303	0,9968	0,4629	0,6196

5.21 RESULTADO DAS ATENUAÇÕES DEVIDO A CHUVA

De acordo com a recomendação do ITU-R P.837-6 o procedimento para o cálculo da atenuação devido a chuva é dado pela Eq.(24) e é válida para frequências de até 100 GHz e extensões de até 60 km. Logo os resultados obtidos se encontram sumarizados na Tabela 29:

TABELA 30 - RESULTADO DA ATENUAÇÃO DEVIDO A CHUVA REFERENTE AOS SEIS LINKS

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
PERDA DEVIDO A CHUVA [dB]	$A_{0,01}(f1)$	0,75530	0,64248	0,57458	0,44633	0,690655	0,604907
	$A_{0,01}(f2)$	1,80483	1,59588	1,46158	1,18833	1,410167	1,522399
	$A_{0,01}(f3)$	8,47702	7,66939	4,96921	5,97682	6,918196	5,80298

5.22 DETERMINAÇÃO DAS ATENUAÇÕES LÍQUIDAS

Para determinação da atenuação total do enlace (valor representativo real da perda que o sinal sofre ao longo da sua trajetória) para cada *link* de análise, foi de suma importância considerar os aspectos que foram adotados para cada tópico até aqui apresentado, como as considerações relevantes em relação a altura de torre, assim como as ponderações realizadas no cálculo de perda devido ao cabo. Já em relação ao ganho da antena (modelo) e as perdas devido ao conector foram

utilizadas as informações das Tabela 4 e 6 respectivamente, descritas no capítulo precedente. Do exposto segue os resultados na Tabela 31:

TABELA 31 - RESULTADO DA ATENUAÇÃO TOTAL DE CADA *LINK* PARA TODAS FREQUÊNCIAS DE ANÁLISE

ATENUAÇÃO TOTAL LÍQUIDA [dB]	Quando K = 4/3	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	LS (f1)	80,593	89,921	94,227	86,875	92,129	95,169
	LS (f2)	79,434	86,858	92,685	84,981	91,606	93,519
	LS (f3)	78,646	81,216	91,470	83,131	90,604	92,962
	Quando K=mínimo	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	LS (f1)	79,387	87,982	94,408	87,234	95,321	96,982
	LS (f2)	76,984	85,692	92,552	85,575	94,453	95,976
	LS (f3)	74,016	83,459	90,170	83,504	91,684	93,651
	Quando K = ideal	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	LS (f1)	78,939	88,488	93,721	85,244	91,819	94,570
	LS (f2)	76,984	85,540	92,296	84,837	91,087	92,955
	LS (f3)	78,999	80,030	90,747	81,895	90,320	91,492

5.22.1 Análise Gráfica

A atenuação total entre as estações dos *links* analisados foram implementados na ferramenta *Matlab*® e podem ser observadas a seguir. Vale ressaltar que para efeitos de simulação consideraram-se as condições relacionadas às possíveis alturas de torre. Entretanto por motivo de organização do capítulo serão mostrados apenas os gráficos referente aos *links* CP-M, M-C e C-SLP, pois a visualização dos mesmos contempla três distintos cenários (região urbana densa, urbana e rural de Curitiba). Os demais gráficos podem ser vistos no ANEXO II.

- Resultado referente à atenuação total do sistema para as estações *PC01-M02* é mostrado no Gráfico 1:

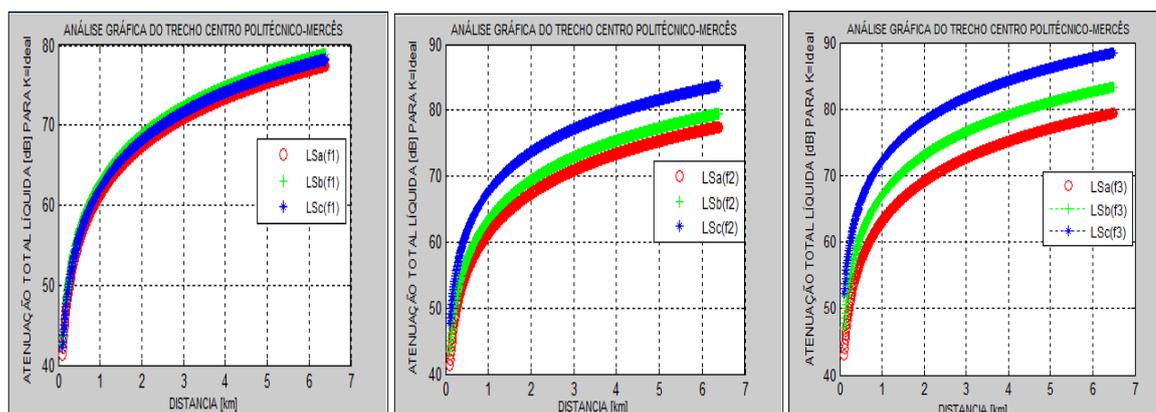


GRÁFICO 1 - ATENUAÇÃO TOTAL PARA NO *LINK* CP01-M02 NAS TRÊS FREQUÊNCIAS.

A partir dos resultados apresentados no Gráfico 1, foi possível realizar uma avaliação da atenuação total dos *links* na região urbana densa de Curitiba. Em virtude dessas informações tornou-se interessante para análise do cenário estabelecer intervalos indicativos referentes às três frequências de operação, através da variação da distância (considerando distâncias menores que 7 km para este cenário). Mediante a este contexto percebe-se:

- Ao variar as distâncias entre 2 km á 6 km na frequência de 3,5 GHz, diminui em até 23 dB á atenuação líquida do *link*. Do mesmo modo que para a frequência de 5 GHz essa atenuação cai em até 18 dB. Já para á frequência de 8,5 GHz essa queda se dá em torno de 14 dB. Baseado nestes dados pode se concluí que o mesmo fundamento que baseia-se a atenuação no espaço livre se aplica também a atenuação total de um sistema , ou seja, quanto menor for a distância e a frequência, menos perda o sistema sofre.

Vale ressaltar que da mesma forma que foi realizada a análise referente ao Gráfico 1, foi replicado a mesma dinâmica nos demais gráficos que serão apresentados a seguir.

- Resultado referente à atenuação total do sistema para o *link M02-C03* na região urbana de Curitiba é mostrado no Gráfico 2:

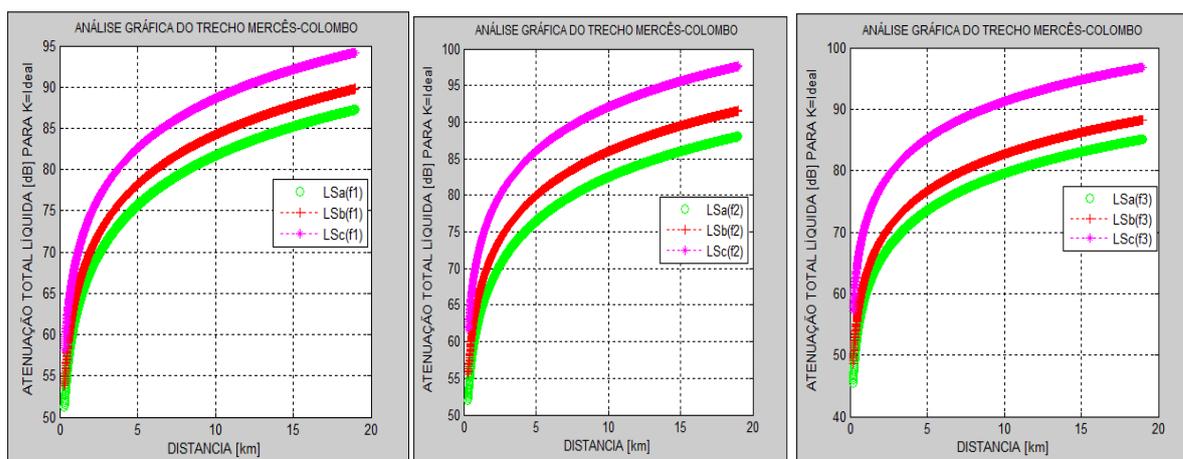


GRÁFICO 2- ATENUAÇÃO TOTAL PARA NO *LINK* M02-C03 NAS TRÊS FREQUÊNCIAS.

- Ao variar as distâncias entre 10 km á 19 km na frequência de 3,5 GHz, atenuação líquida do *link* diminuiu apenas em 8 dB, enquanto que para as

frequências de 5 GHz e 8,5 GHz este valor ficou em torno de 4 dB e 5 dB respectivamente. Portanto mediante a estes dados que se mostraram não muito significativos, conclui-se que para a região urbana de Curitiba uma das soluções adequadas para melhorar este resultado é aumentar no ganho das antenas envolvidas no sistema, utilizar cabos com menos perdas, ou mesmo fazer uso de repetidoras nos pontos críticos do trecho.

- O resultado referente à atenuação total do sistema para o *link C03-SLP04* na região rural do Paraná é mostrado no Gráfico 6:

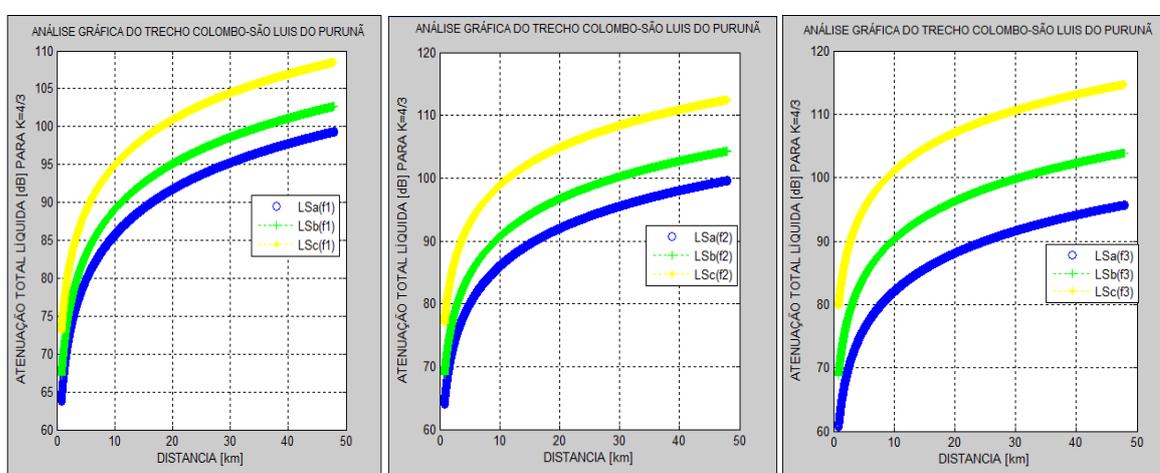


GRÁFICO 3 - ATENUAÇÃO TOTAL PARA NO *LINK C03-SLP04* NAS TRÊS FREQUÊNCIAS.

- Ao variar as distâncias entre 25 km á 48 km nas frequências de operação de 3,5 GHz, 5 GHz e 8,5 GHz mostrou que a atenuação líquida do *link* diminuiu em torno 4 dB para os três casos. Neste caso em que o enlace é projetado para distâncias longas (rural), é praticamente obrigatório a instalação de repetidoras no percurso do link, com a finalidade de melhorar o rendimento do sistema em relação a perda total do percurso.

5.23 DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE ASSINATURA

A área de assinatura é um cálculo necessário para sistemas terrestres com visada direta onde a condição de propagação é propícia ao fenômeno de múltiplos percursos, ocasionando consequentemente possíveis retardos no sinal na chegada do receptor. Quanto menor for à área de assinatura mais robusto e confiável será

equipamento de recepção. Segundo [1], recomenda-se que este valor fique em torno de 10^{-8} . Para determinação desse parâmetro foi utilizada a Eq. (28) e seus resultados estão apresentados na Tabela 32:

TABELA 32 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES À ÁREA DE ASSINATURA.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Área de Assinatura [ns]	S (f1)	3,18E-09	3,18E-09	3,18E-09	3,18E-09	3,18E-09	3,18E-09
	S (f2)	9,94E-09	9,94E-09	9,94E-09	9,94E-09	9,94E-09	9,94E-09
	S (f3)	6,98E-09	6,98E-09	6,98E-09	6,98E-09	6,98E-09	6,98E-09
	S (f3)'	6,10E-09	6,10E-09	6,10E-09	6,10E-09	6,10E-09	6,10E-09

5.24 DETERMINAÇÃO DAS MARGENS DE DESVANECIMENTO DISPERSIVOS

Tão importante quanto à determinação da atenuação total do sistema é o cálculo referente à margem de desvanecimento dispersivo – DFM que também representa um fator de segurança em relação à robustez do equipamento. De acordo com [2], recomenda-se como referência de qualidade do equipamento que a sua DFM fique em torno de 20 dB para frequências de 3 GHz à 12 GHz. Do exposto, para este cálculo foi utilizada a Eq.(31) descrita no capítulo precedente e seus valores estão disponíveis na Tabela 33:

TABELA 33 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES AO DFM.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Margem de Desvanecimento Dispersivo [dB]	DFM (f1)	18,398	18,398	18,398	18,398	18,398	18,398
	DFM (f2)	20,906	20,906	20,906	20,906	20,906	20,906
	DFM (f3)	19,606	19,606	19,606	19,606	19,606	19,606
	DFM (f3)'	19,544	19,544	19,544	19,544	19,544	19,544

5.25 RESULTADOS CALCULADOS DO EIRP

Determinar a potência real transmitida (potência na saída da antena) representa um fator importante e normativo para o controle de interferências entre sistemas que podem estar compartilhando uma mesma faixa de operação e dentro de uma mesma área de cobertura. Baseado nesta informação segue na Tabela 34

os valores de potência na saída do transmissor considerados no trabalho e consequentemente para o cálculo do EIRP.

TABELA 34 – VALORES REFERENTES A POTÊNCIA TRANSMITIDA PARA CADA FREQUÊNCIA

FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO	POTÊNCIA ENTREGUE NA SAÍDA DO TRANSMISSOR
3,5 GHz	28 dBm
5 GHz	30 dBm
8,5 GHz	30 dBm

Do exposto, a seguir são mostrados na Tabela 35 os resultados calculados pela Eq.(33) do EIRP.

TABELA 35– RESULTADO REFERENTE AO EIRP NAS TRÊS FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO.

EIRP [dBm]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	EIRP (f1)	45,02	46,93	44,65	45,89	45,59	43,17
	EIRP (f2)	49,14	50,73	49,04	51,49	48,06	46,06
	EIRP (f3)	52,26	52,55	49,89	50,34	50,03	49,65
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	EIRP (f1)	45,06	45,87	42,51	44,73	42,91	40,43
	EIRP (f2)	49,05	48,09	46,59	47,02	46,91	44,16
	EIRP (f3)	51,13	49,03	47,19	48,67	48,35	48,06
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	EIRP (f1)	45,12	46,37	43,35	42,82	42,38	40,08
EIRP (f2)	49,07	50,05	48,35	47,82	47,38	45,24	
EIRP (f3)	52,12	51,60	48,31	49,45	49,14	48,48	

De acordo com [10], o valor de EIRP recomendado para frequências de 3 GHz á 7 GHz é de até 55 dBm. Entretanto esta condição só é válida desde que, a potência transmitida do equipamento (transmissor) não ultrapasse o limite de 2 W (33 dBm). Enquanto que para frequências de 8 GHz a 12 GHz o valor do EIRP sugerido limita-se a 53 dBm caso a potência transmitida (do equipamento transmissor) seja de no máximo de 1 W (30 dBm). Baseado nestas informações, foi possível avaliar os resultados apresentados na Tabela 35 que por sua vez, mostrou valores dentro dos limites estabelecidos para todos os cenários em análise nas frequências de 3,5 GHz e 5 GHz. Entretanto para os *links* CP-SLP e C-SLP o valor do EIRP ficou acima do limite sugerido para a frequência de 8,5 GHz apenas para o cenário no qual a altura de torre considerada fosse de $k = \text{mínimo}$ (60% de liberação da zona de Fresnel).

5.26 DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE RECEPÇÃO

Neste item serão apresentados os resultados referentes à potência do sinal recebido, considerando-se os critérios normais de desobstrução dos *links* sob análise como pode ser observado a seguir. Para o cálculo desse parâmetro foi utilizado a Eq.(34) descrito no capítulo precedente.

TABELA 36- RESULTADO DO NÍVEL DE RECEPÇÃO PARA CADA LINK EM TODAS AS FREQUÊNCIA.

Nível de Recepção em [dBm]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	Prn (f1)	- 52,593	- 61,927	- 64,227	- 58,875	- 62,109	- 65,169
	Prn (f2)	- 49,434	- 56,888	- 62,695	- 54,981	- 60,106	- 62,519
	Prn (f3)	- 48,646	- 51,216	- 60,470	- 53,131	- 60,094	- 61,962
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	Prn (f1)	- 50,387	- 59,982	- 64,408	- 59,234	- 62,321	- 65,982
	Prn (f2)	- 46,984	- 55,693	- 61,552	- 55,575	- 60,253	- 62,976
	Prn (f3)	- 44,016	- 53,459	- 60,017	- 53,504	- 60,184	- 61,625
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	Prn (f1)	- 50,830	- 60,488	- 64,721	- 57,244	- 63,819	- 63,057
	Prn (f2)	- 46,998	- 55,540	- 62,296	- 54,837	- 61,887	- 62,955
	Prn (f3)	- 48,939	- 50,003	- 60,747	- 51,895	- 60,032	- 61,942

Mediante as informações contidas na Tabela 36, concluiu-se que os cálculos efetuados pertinentes ao nível de recepção teve a finalidade primeiramente de mostrar os níveis de potência em condições ideais, ou seja, na ausência de possíveis desvanecimentos, para que em um segundo momento tais resultados pudessem ser associados a fatores comuns e inerentes a propagação.

5.27 RESULTADO DAS MARGENS DE DESVANECIMENTO

A margem de desvanecimento – MD, representa uma medida de segurança para garantir um desempenho de qualidade satisfatório do sistema. Segundo [3] e [15], tende-se a referenciar padrões indicativos de qualidade pertinentes ao MD para regiões urbanas como sendo:

- Excelente –O nível da margem de desvanecimento seja superior a 22 dB. Neste caso considera-se que o enlace deverá funcionar com alta

confiabilidade tornando-se ideal para aplicações que exigem uma alta qualidade de desempenho;

- Bom – Para este caso normalmente o nível da margem de desvanecimento varia entre 14 dB a 22 dB oferecendo dessa forma ao enlace uma satisfatória resposta em relação ao funcionamento do mesmo;
- Normal – O nível da margem de desvanecimento varia entre 14 dB a 10 dB. Para esta situação implica dizer que a estabilidade do enlace não será linear, ou seja, não estará estável em todo tempo do seu funcionamento;
- Insatisfatório – Quando o enlace se encontra com o nível de margem de desvanecimento abaixo de 10 dB resultando em um funcionamento considerado inadequado para se operar um sistema.

Entretanto por motivo de organização do capítulo serão mostrados apenas os resultados referente a condição no qual o limiar de recepção (tópico descrito na Tabela 7), estabelecido seja para o melhor caso (margem de tolerância maior para erros – equipamento com capacidade menor). Do exposto sumariza-se a seguir os resultados gerados pela Eq.(35), que apresentaram melhor rendimento em relação aos estabelecidos respectivos a cada enlace.

- Resultados calculados para frequência 3,5 GHz considerando o limiar de recepção de – 84 dBm (equivalente á um BER 10^{-3}):

TABELA 37 – RESULTADO DA MARGEM DE DESVANECIMENTO PARA FREQUÊNCIA DE 3,5 GHz.

Margem de Desvanecimento [dB]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f1)	29,400	22,073	19,773	25,125	21,891	18,831
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f1)	31,613	24,018	19,592	29,761	21,679	18,018
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f1)	29,017	23,512	19,279	26,726	20,181	20,095

- Resultados calculados para frequência 5 GHz considerando o limiar de recepção de – 72 dBm (equivalente á um BER 10^{-3}):

TABELA 38 - RESULTADO DA MARGEM DE DESVANECIMENTO PARA FREQUÊNCIA DE 5 GHz.

Margem de Desvanecimento [dB]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f2)	22,466	14,112	10,305	17,019	11,894	10,481
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f2)	25,016	14,307	11,008	16,425	11,740	11,024
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f2)	25,002	14,46	10,704	17,163	10,113	10,545

- Resultados calculados para frequência 8,5 GHz considerando o limiar de recepção de -78 dBm (equivalente á um BER 10^{-3}):

TABELA 39 – RESULTADO DA MARGEM DE DESVANECIMENTO PARA FREQUÊNCIA DE 8,5 GHz.

Margem de Desvanecimento [dB]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f3)	25,354	26,784	17,053	24,869	17,906	16,038
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f3)	27,984	24,541	17,983	24,496	17,816	16,375
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MD (f3)	26,068	27,997	17,253	26,105	17,962	16,058

Baseando-se nos resultados apresentados nas Tabela 37, 38 e 39 pode-se concluir que o único enlace que apresentou desempenho acima de 22 dB foi o *link* CP-M, para todas as frequências e em todos cenários de análise, se caracterizando dessa forma em um sistema de alta confiabilidade. Enquanto que para os *links* CP-C e M-C apenas enquadraram-se a esta condição (MD acima de 22 dB) para as frequências de 3,5 GHz e 8,5 GHz, pois ao ser analisado para frequência de 5 GHz os *links* apresentaram um rendimento entre 15 dB á 17 dB, caracterizando-se em sistemas de boa confiabilidade, ou seja, o desempenho dos enlaces estão dentro da expectativa esperada.

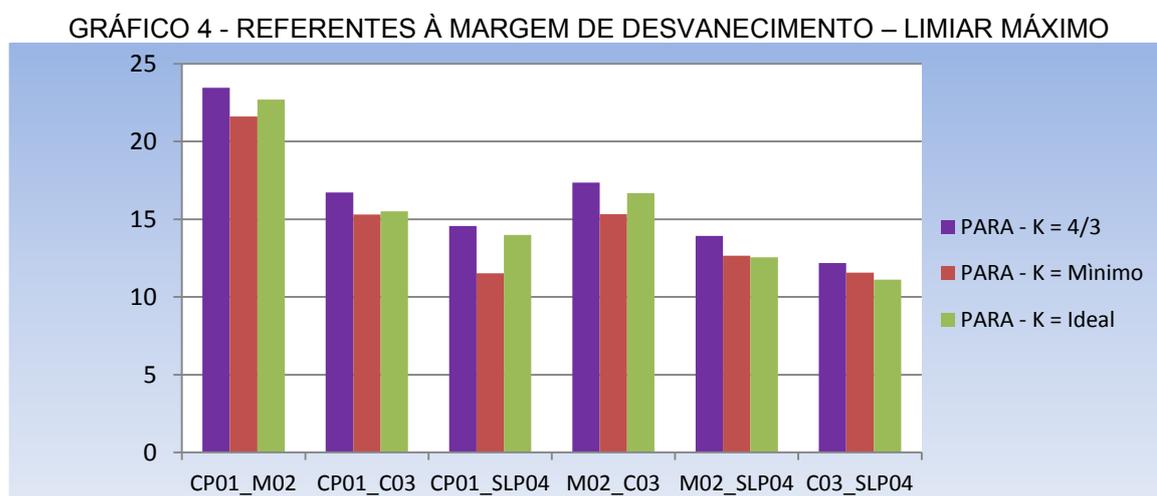
Os sistemas CP-C, CP-SLP, M-SLP e C-SLP nas frequência de 3,5 GHz e 8,5 GHz também mostraram um desempenho dentro do padrão de confiabilidade considerada boa. Todavia, ao serem analisados para a frequência de 5 GHz, apresentaram resultados considerados não ideais porém aceitáveis pois, seus

desempenhos variaram de 14 dB á 10 dB, caracterizando estes links no padrão de sistemas com uma confiabilidade instável.

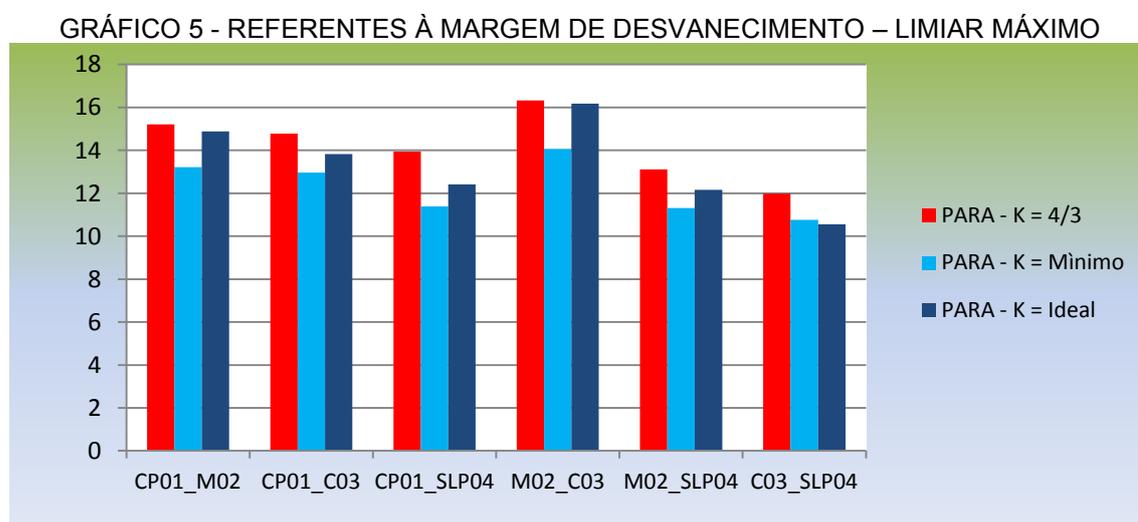
5.27.1 Análise Gráfica

A Margem de Desvanecimento dos *links* analisados fora implementados em gráficos para fins ilustrativos. Vale ressaltar que para este tópico também se considerou o limiar de recepção para o melhor caso respectivo a cada frequência de operação.

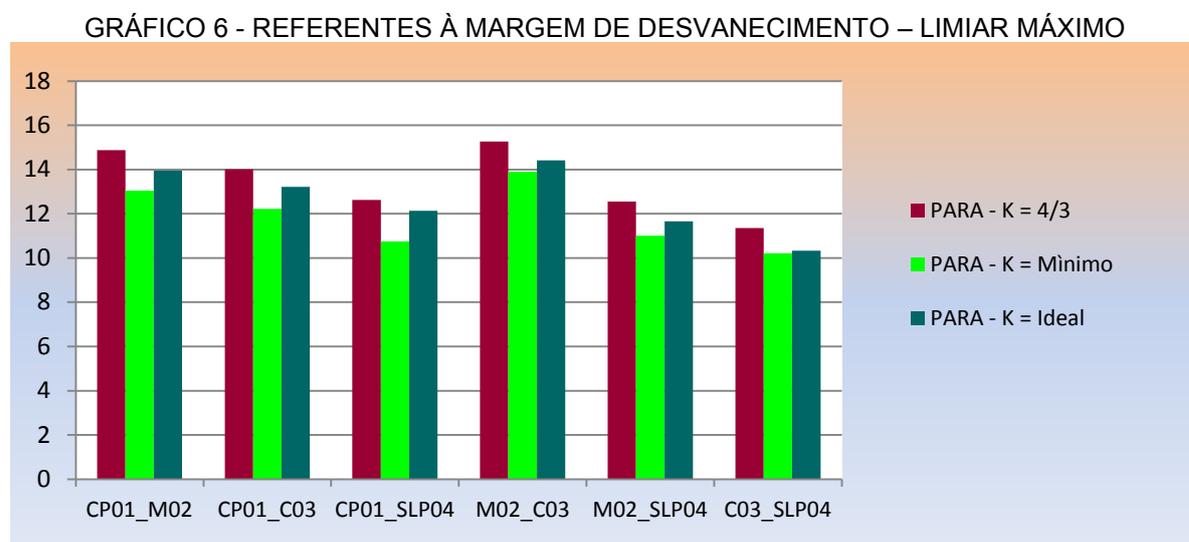
Resultado pertinente à frequência de 3,5 GHz:



Resultado pertinente à frequência de 5 GHz:



Resultado pertinente à frequência de 8,5 GHz



5.28 DETERMINAÇÃO DAS MARGENS DE DESVANECIMENTO POR INTERFERÊNCIA

Os resultados obtidos referente à margem de desvanecimento por interferência representa nada mais do que, uma medida de precaução em relação às possíveis interferências (exemplo: outros *links* próximos a área de análise) que o sistema possa a vir sofrer. Seus resultados foram obtidos através da Eq.(36).

- Resultados calculados para frequência 3,5 GHz considerando o limiar de recepção de -84 dBm (equivalente a um BER 10^{-3}):

TABELA 40 - MARGEM DE DESVANECIMENTO POR INTERFERÊNCIA NA FREQUÊNCIA DE 3,5 GHz.

Margem de Desvanecimento devido a Interferência [dB]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MDI (f1)		28,400	21,073	18,773	24,125	20,891
Quando K=mínimo	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MDI (f1)		30,613	23,018	18,592	28,761	20,679
Quando K = ideal	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP-C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	MDI (f1)		28,017	22,512	18,279	25,726	19,181

- Resultados calculados para frequência 5 GHz considerando o limiar de recepção de -72 dBm (equivalente á um BER 10^{-3}):

TABELA 41 – MARGEM DE DESVANECIMENTO POR INTERFERÊNCIA NA FREQUÊNCIA DE 5 GHz.

Margem de Desvanecimento devido a Interferência [dB]	Quando K = 4/3	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	MDI (f2)	21,466	13,112	9,305	16,019	10,894	9,481
	Quando K=mínimo	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	MDI (f2)	24,016	13,307	10,008	15,425	10,740	10,024
	Quando K = ideal	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	MDI (f2)	24,002	13,46	9.704	16,163	9,113	9,545

- Resultados calculados para frequência 8,5 GHz considerando o limiar de recepção de -78 dBm (equivalente á um BER 10^{-3}):

TABELA 42 – MARGEM DE DESVANECIMENTO POR INTERFERÊNCIA PARA NA FREQUÊNCIA DE 8,5 GHz.

Margem de Desvanecimento devido a Interferência [dB]	Quando K = 4/3	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	MDI (f3)	24,354	25,784	16,053	23,869	16,906	15,038
	Quando K=mínimo	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	MDI (f3)	26,984	23,541	16,983	23,496	16,816	15,375
	Quando K = ideal	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	MDI (f3)	25,068	26,997	16,253	25,105	16,962	15,058

Mediante aos resultados encontrado nas Tabelas 40, 41 e 42 conclui-se que se caso haja uma possível degradação do sinal devido a interferências externas a margem de segurança calculada assegura uma boa resposta em relação a isso.

5.29 RESULTADO REFERENTES AO RUÍDO TÉRMICO

O ruído térmico é o tipo de ruído mais comum em sistemas de transmissão, pois o mesmo representa um fator inerente de todos e qualquer equipamento eletrônico, ou seja, sua presença é inevitável. Portanto os resultados obtidos estão sumarizados da seguinte forma:

- Valores obtidos para do ruído térmico admitindo sua contribuição para 100% do tempo para as três frequências de operação dada pela Eq. (39):

TABELA 43 - RESULTADOS REFERENTES AO RUÍDO TÉRMICO PRESENTE NOS LINKS

	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Ruído Térmico [dBm]	RT (f1) para FR = 3 dB	- 104	- 104	- 104	- 104	- 104
	RT (f2) para FR = 3 dB	- 86,2	- 86,2	- 86,2	- 86,2	- 86,2
	RT (f3) para FR = 3 dB	- 89,9	- 89,9	- 89,9	- 89,9	- 89,9
	RT (f3') para FR = 3 dB	- 90,3	- 90,3	- 90,3	- 90,3	- 90,3

- Valores obtidos para do ruído térmico admitindo sua contribuição para 50% do tempo.

TABELA 44 - RESULTADO DA CONTRIBUIÇÃO DO RUÍDO PARA 50% EM TODAS AS FREQUÊNCIAS.

	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)	
Contribuição do Ruído térmico para 50% do tempo [pW0p]	Quando K = 4/3						
	RT _{50%} (f1)	4,391	7,383	10,117	6,210	9,588	11,039
	RT _{50%} (f2)	6,274	7,756	11,290	6,854	10,657	12,768
	RT _{50%} (f3)	7,391	9,210	12,614	7,999	10,172	13,229
	Quando K=mínimo						
	RT _{50%} (f1)	5,492	7,664	10,165	6,429	10,321	12,359
	RT _{50%} (f2)	7,173	8,517	12,513	7,332	11,253	12,440
	RT _{50%} (f3)	9,338	9,813	12,814	8,421	11,651	13,818
	Quando K = ideal						
	RT _{50%} (f1)	7,205	8,332	11,283	7,542	11,708	13,573
	RT _{50%} (f2)	8,049	9,278	12,735	8,640	12,154	13,957
	RT _{50%} (f3)	10,163	10,974	13,197	9,922	12,462	13,998

- Valores obtidos para do ruído térmico admitindo sua contribuição para 80% do tempo:

TABELA 45 - RESULTADO DA CONTRIBUIÇÃO DO RUÍDO PARA 80% DO TEMPO EM TODAS AS FREQUÊNCIAS.

	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)	
Contribuição do Ruído térmico para 80% do tempo [pW0p]	Quando K = 4/3						
	RT _{80%} (f1)	2,391	5,383	8,117	4,210	7,588	9,039
	RT _{80%} (f2)	4,274	5,756	9,290	4,854	8,657	10,768
	RT _{80%} (f3)	5,391	7,210	10,614	5,999	8,172	11,229
	Quando K=mínimo						
	RT _{80%} (f1)	2,492	5,664	8,165	4,429	8,321	10,359
	RT _{80%} (f2)	4,173	6,517	10,513	5,332	9,253	10,440
	RT _{80%} (f3)	7,338	7,813	10,814	6,421	9,651	11,818
	Quando K = ideal						
	RT _{80%} (f1)	5,205	6,332	9,283	5,542	9,708	11,573
	RT _{80%} (f2)	6,049	7,278	10,753	6,640	10,155	11,957
	RT _{80%} (f3)	8,163	8,974	11,197	7,922	10,462	11,998

5.30 RESULTADOS CALCULADOS PARA O RUÍDO DE ECO

O ambiente propício com maior probabilidade de ocorrer interferência devido o ruído de eco se dá em regiões urbanas (densa e suburbana). Este fato se dá em virtude de possíveis reflexões (ex: prédios altos) no percurso entre as antenas assim como também prováveis descasamento no sistema de guia de onda. Os resultados encontrados estão sumarizados na Tabela 46 . Vale ressaltar que para este cálculo se utilizou a Eq.(47) mostrado no capítulo anterior.

TABELA 46 - RESULTADO REFERENTE AO RUÍDO DE ECO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS.

Ruído de Eco [pW0p]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	S/N _e (f1)	7,1669	7,1658	7, 2226	7,3750	7,4340	7,9183
	S/N _e (f2)	7, 1506	7,0985	7, 4366	7,5458	7,6323	8,3243
	S/N _e (f3)	11,0391	11,0800	11,6117	11,721	11,5828	12,459
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	S/N _e (f1)	7, 2962	7,3782	8,0514	7,4062	7,9701	8,4663
	S/N _e (f2)	7,2681	7,4654	7,9275	7,6414	9, 9186	8,3243
	S/N _e (f3)	11,1338	11,7285	11,7516	12,055	11,5828	12,259
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	S/N _e (f1)	7,2801	7,2794	7,3386	7,4864	7,5485	7,9917
	S/N _e (f2)	7,2862	7,2350	7,5747	7,6809	7,7685	8,4121
	S/N _e (f3)	11,2163	11,2595	11,7283	11,899	11,7608	12,573

5.31 RESULTADOS DO RUÍDO INTERFERENTE DEVIDO A POLARIZAÇÃO PARALELA

Tornou-se necessário determinar o ruído interferente devido à polarização paralela - RPP como uma medida preventiva para o caso em que os *links* de transmissão compartilham a mesma faixa de operação e utilizam também antenas com o mesmo sentido de polarização (quer seja vertical ou horizontal). Baseado nas informações se torna imperativo analisar este tipo de ruído cujos resultados serão mostrados a seguir. A Figura 29 ilustra a análise do ruído interferente devido a polarização paralela e a Tabela 47 mostra os resultados obtidos pela Eq.(55) e (56):

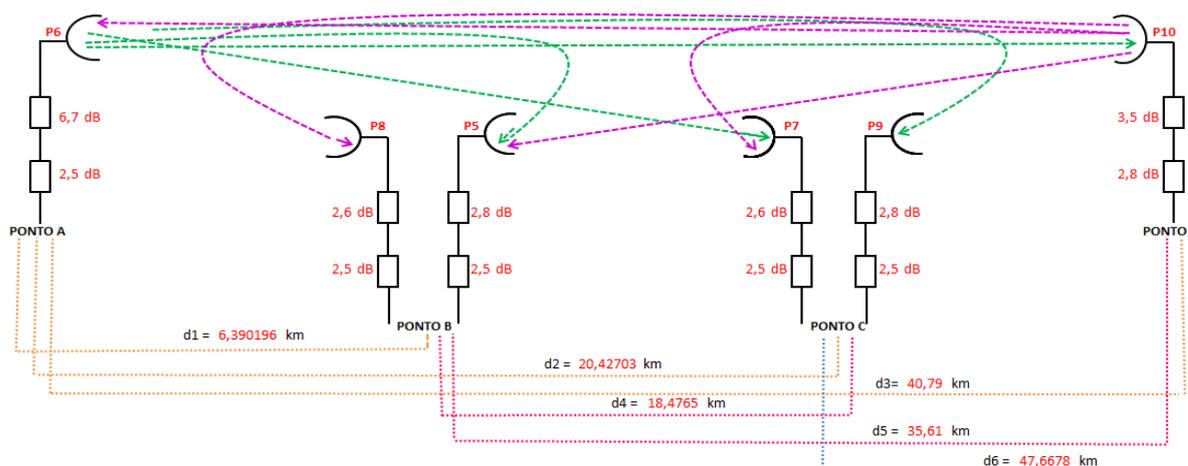


FIGURA 29 - REPRESENTA A ANÁLISE DO RUÍDO DEVIDO À POLARIZAÇÃO PARALELA.
FONTE:AUTORA.

- Valores obtidos referentes o RPC:

TABELA 47- RESULTADO REFERENTE AO RPP PARA TODOS OS LINKS PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS.

Ruído Interferente devido a Polarização Paralela [pW0p]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	Rl ₀ (f1)	5,933	6,310	8,068	6,442	7,272	8,269
	Rl ₀ (f2)	5,951	6,432	8,290	6,575	7,580	8,433
	Rl ₀ (f3)	5,978	6,741	8,321	6,626	7,322	8,740
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	Rl ₀ (f1)	5,988	6,821	8,754	6,723	7,893	8,854
	Rl ₀ (f2)	6,023	6,845	8,803	6,852	7,979	9,154
	Rl ₀ (f3)	6,135	6,998	8,861	6,874	8,641	9,187
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	Rl ₀ (f1)	6,394	7,001	8,873	6,882	8,551	9,322
Rl ₀ (f2)	6,587	7,121	8,891	7,049	8,585	9,459	
Rl ₀ (f3)	6,822	7,132	8,993	7,487	8,779	9,528	

5.32 RESULTADOS DO RUÍDO INTERFERENTE DEVIDO A POLARIZAÇÃO CRUZADA

Tão necessário quanto cálculo do RPP é a determinação do ruído devido à polarização cruzada – RPC. Com a necessidade cada vez maior de se projetar sistemas de transmissão que suportem altas taxas de transmissão e serviços diferenciados, aplica-se a técnica de se usar antenas com polarizações alternadas. Conseqüentemente o sistema garante uma eficiência (capacidade) maior sob custo de um aumento na vulnerabilidade quanto às interferências causadas entre os links.

Do exposto a Figura 30 ilustra a análise do ruído interferente devido à polarização cruzada e a Tabela 48 mostra os resultados obtidos pela Eq.(58) e (59):

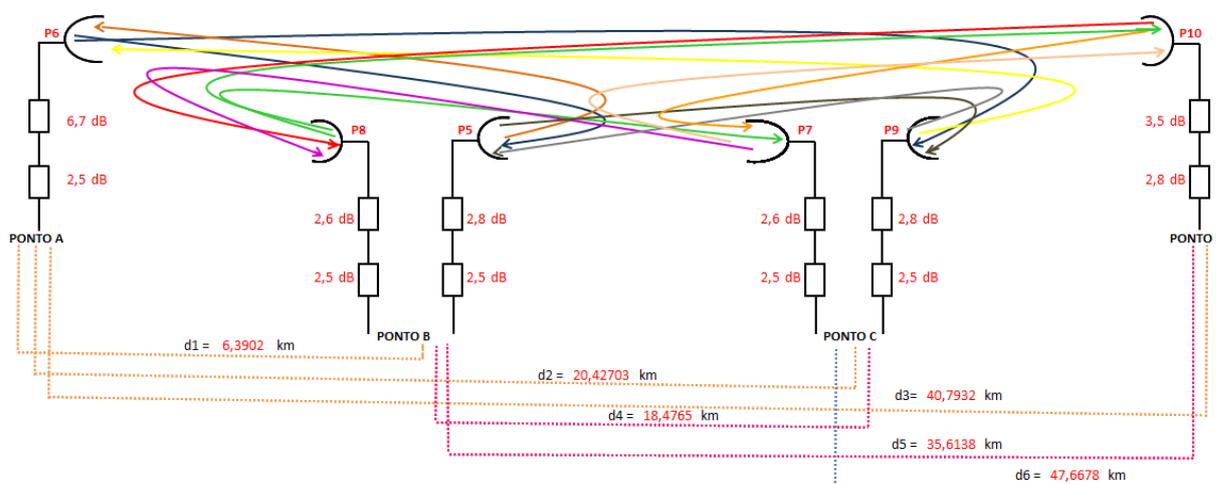


FIGURA 30 - REPRESENTA A ANÁLISE DO RUÍDO DEVIDO À POLARIZAÇÃO CRUZADA
 FONTE: AUTORA

- Valores obtidos referentes o RPC na frequência 3,5 GHz:

TABELA 48 - RESULTADO REFERENTE AO RPP PARA TODOS OS LINKS PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS.

Ruído Interferente devido a Polarização Cruzada [pW0p]	Quando $K = 4/3$	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	$Rl_{pc}(f1)$	1,163	3,084	4, 236	2,668	3,133	4,714
	$Rl_{pc}(f2)$	2,160	3,088	4,348	2,793	3,190	4,889
	$Rl_{pc}(f3)$	2,677	3,102	4,416	2,804	3,304	4,954
	Quando $K = \text{mínimo}$	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	$Rl_{pc}(f1)$	2,743	3,107	4,438	2,920	3,559	5, 338
	$Rl_{pc}(f2)$	2,916	3,217	4,879	2,943	3,743	5,365
	$Rl_{pc}(f3)$	3,037	3,230	4,891	2,978	3,813	5,491
	Quando $K = \text{ideal}$	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	$Rl_{pc}(f1)$	3,302	3,266	4,960	2,998	3,635	5,590
$Rl_{pc}(f2)$	3,262	3,299	5,173	3,034	4,364	5,789	
$Rl_{pc}(f3)$	3,410	3,595	5,196	3,120	4,578	5,958	

5.33 Determinação do Ruído Total do Sistema

O resultado obtido para O ruído total do sistema representa nada mais do que a soma em pW0p de todos o ruídos considerados relevantes atuando sobre os enlaces. A resolução ITU G826, impõem que o patamar de ruído de um sistema de transmissão, independente do número de estações não deve ser superior ao limite de $2L + 100$, onde L representa a distância do link. Além desse fator, é recomendado

por [3], que o nível de ruído em pW0p fique em torno de 18 pW0p. Do exposto desprende-se a análise gráfica dos resultados calculados, como serão mostrados a seguir. Os Gráficos 7, 8 e 9 apresentam o ruído total calculado pra 50% do tempo em pW0p:

GRÁFICO 7 - RUÍDO TOTAL PARA 50% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS PARA
K = 4/3

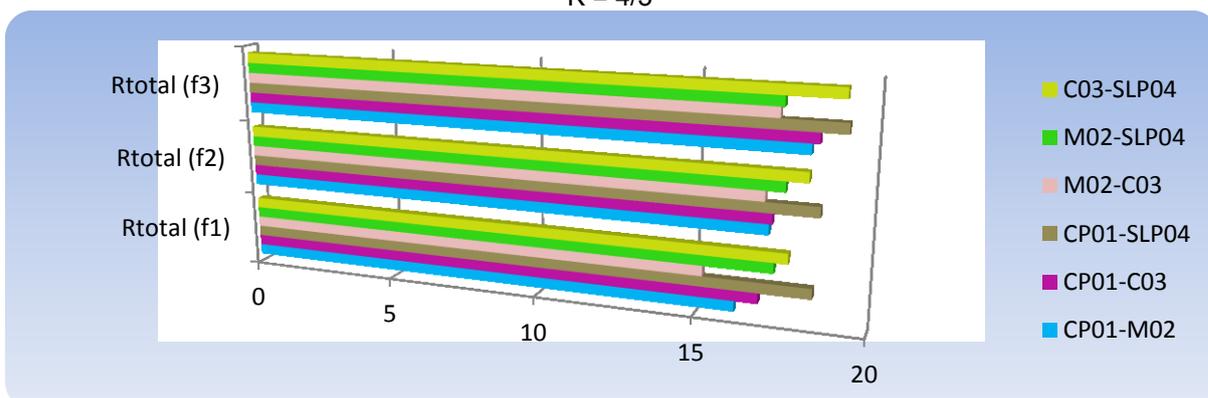


GRÁFICO 8 - RUÍDO TOTAL PARA 50% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS
K = MÍNIMO

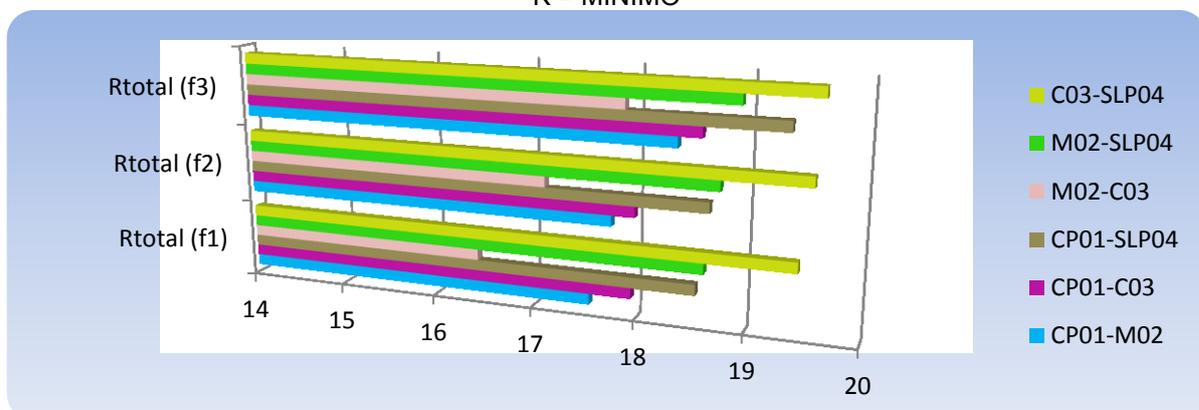
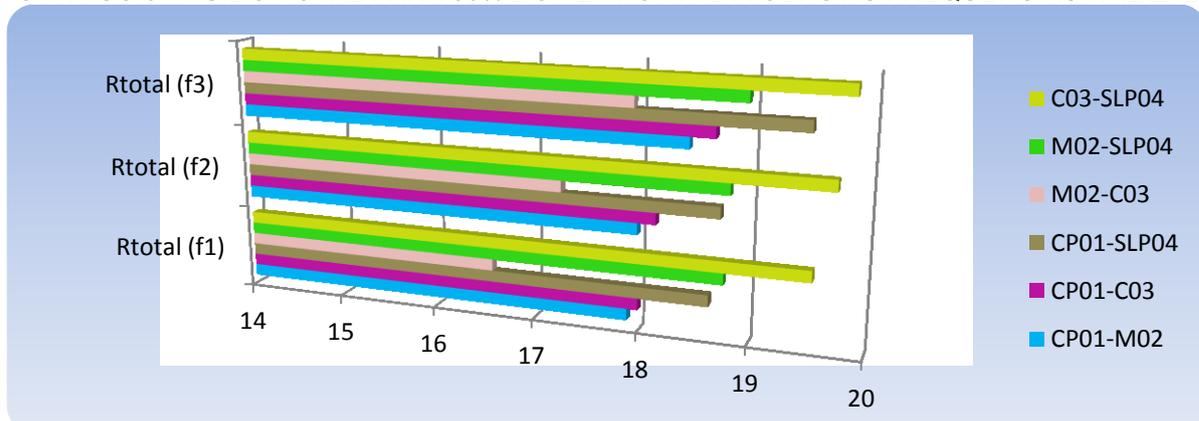


GRÁFICO 9 - RUÍDO TOTAL PARA 50% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS K=IDEAL



Os Gráficos 10, 11 e 12 respectivamente apresentam o ruído total calculado pra 80% do tempo em pW0p:

GRÁFICO 10 - RUÍDO TOTAL PARA 80% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS PARA
K = 4/3

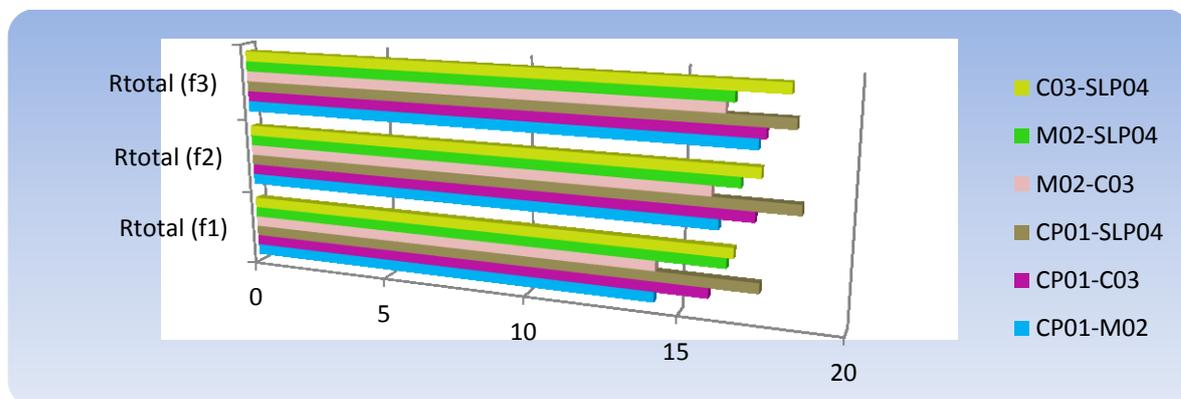


GRÁFICO 11 - RUÍDO TOTAL PARA 80% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS
K = MÍNIMO

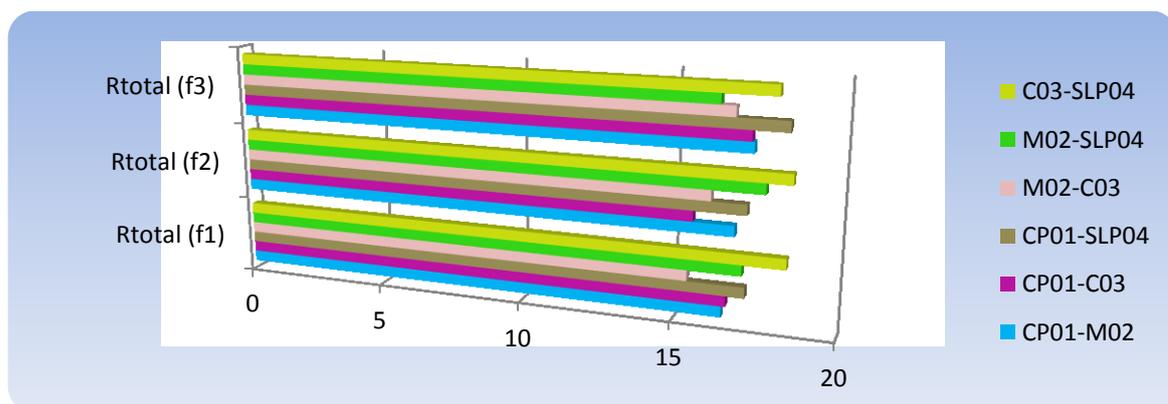
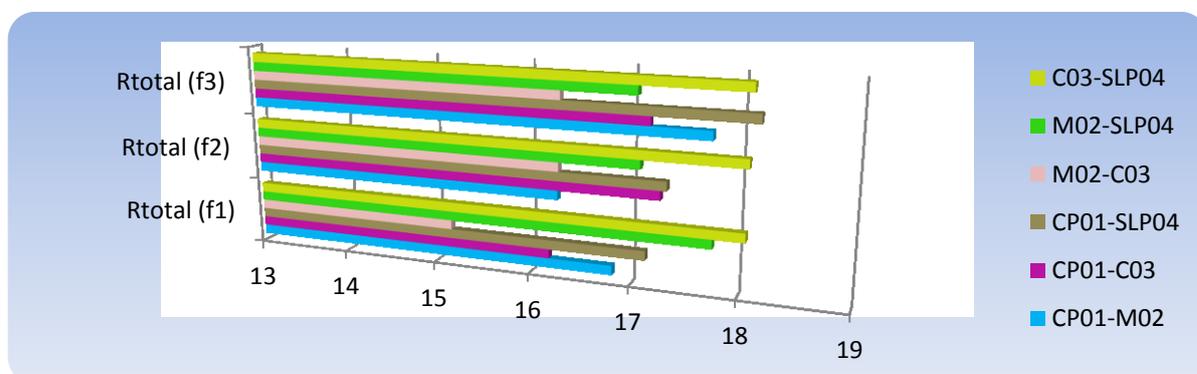


GRÁFICO 12 - RUÍDO TOTAL PARA 80% DO TEMPO PARA TODAS AS FREQUÊNCIAS K=IDEAL



Observa-se a partir dos gráficos apresentados os valores correspondentes a soma dos ruídos existentes em cada enlace em questão, considerando em sua

performance a atuação do mesmo quando, o período de atividade (tempo de funcionamento do equipamento) equivalente a 50% e a 80% do tempo. Nota-se que o ruído se intensificou significativamente (acima 18 pW0p) principalmente para as frequências de 5 GHz e 8,5 GHz destacando-se a partir dos trechos CP01_SLP04, M02_SLP04 e C03_SLP04 em virtude de ambos percorrerem distâncias consideradas longas ($35 \text{ km} \geq d \leq 50 \text{ km}$). Vale ressaltar que para os demais trechos, o nível de ruído foi considerado dentro dos limites como aceitáveis. Ao se analisar o nível de recepção somado ao ruído existente respectivo a cada um desses trechos destacados, percebe-se que como respostas poderiam ser:

Para a frequência de 5 GHz:

- Distâncias entre 36 km a 50 km quando $k = 4/3$ (altura de torre)
 - $69 \text{ dBm} \geq (P_r + R_{\text{total}}) \leq -70 \text{ dBm}$;
- Distâncias entre 36 km a 50 km quando $k = \text{mínimo}$ (altura de torre)
 - $70 \text{ dBm} \geq (P_r + R_{\text{total}}) \leq -72 \text{ dBm}$;
- Distâncias entre 36 km a 50 km quando $k = \text{ideal}$ (altura de torre)
 - $70 \text{ dBm} \geq (P_r + R_{\text{total}}) \leq 71 \text{ dBm}$.

Ao se considerar o limiar de recepção de um equipamento com uma capacidade menor (- 72 dBm) referente a esta frequência concluí-se, que o sistema operaria em condições extremas, porém aceitáveis para o caso em que a altura da torre fosse igual $k = 4/3$. Já para o caso no qual k seja mínimo ou ideal, resulta em uma degradação total do sistema, pois, o nível de recepção se encontra nivelado ao limite do equipamento.

Para a frequência de 8,5 GHz:

- Distâncias entre 36 km a 50 km quando $k = 4/3$ (altura de torre)
 - $70 \text{ dBm} \geq (P_r + R_{\text{total}}) \leq -71 \text{ dBm}$;
- Distâncias entre 36 km a 50 km quando $k = \text{mínimo}$ (altura de torre)
 - $70 \text{ dBm} \geq (P_r + R_{\text{total}}) \leq -71 \text{ dBm}$;
- Distâncias entre 36 km a 50 km quando $k = \text{ideal}$ (altura de torre)

$$- 70 \text{ dBm} \geq (P_r + R_{\text{total}}) \leq - 71 \text{ dBm}.$$

O mesmo procedimento aplicado à frequência anterior é utilizado para frequência e 8,5 GHz. O limiar de recepção limiar de recepção de um equipamento com uma capacidade menor (- 78 dBm) referente a esta frequência concluí-se, que o sistema também operaria em condições extremas, porém também aceitáveis para todos os casos.

5.34 DETERMINAÇÃO DO VALOR DE SISTEMA

O valor de sistema representa o valor ideal da relação sinal-ruído que seria obtida na saída do transmissor acreditando que a relação transmissor-receptor é dada em um meio sem perdas, considerando o transmissor isento de ruído. Baseando nesta informação sumariza-se na Tabela 49 os resultados obtidos pela Eq.(61).

TABELA 49 - RESULTADOS ENCONTRADOS REFERENTES AO VALOR DE SISTEMA DOS LINKS.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
VALOR DE SISTEMA [dB]	VS (f1)	90,8327	90,8327	90,8327	90,8327	90,8327	90,8327
		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	VS (f2)	81,8870	81,8870	81,8870	81,8870	81,8870	81,8870
		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	VS (f3)	83,6346	83,6346	83,6346	83,6346	83,6346	83,6346
		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
VS (f3)	83,7522	83,7522	83,7522	83,7522	83,7522	83,7522	

5.35 RESULTADOS REFERENTES À INOPERÂNCIA DO SISTEMA

Quando se diz que um sistema de transmissão é inoperante significa dizer que as condições de propagação estão provocando uma elevação no nível de sinal para valores acima do limiar de recepção. Condições de propagação estas, que podem estar relacionadas a uma provável diminuição da relação sinal-ruído em virtude dos desvanecimentos não seletivos assim como também o fenômeno do multipercorso provocados pelo desvanecimento seletivo. É válido salientar que por motivos de

organização do capítulo serão mostradas apenas as análises que apresentaram os melhores resultados. Do exposto despreendem-se as seguintes análises:

- Valores referentes a uma estimativa da probabilidade de inoperância calculada pela Eq.(62).

TABELA 50 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES À ESTIMATIVA DE PROBABILIDADE DE INOPERÂNCIA.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Estimativa da Probabilidade de Inoperância [%]	K (f1)	0,0019	0,1855	1,2109	0,1412	2,6462	1,3420
	K (f2)	0,0025	0,2468	1,6108	0,1878	3,5200	1,7851
	K (f3)	0,0039	0,3774	2,4627	0,2872	5,3815	2,7292

- Valores obtidos referentes à probabilidade de inoperância em razão do desvanecimento não seletivo se fundamentou na Eq.(63). Para este cálculo considerou-se o limiar de recepção com maior margem de tolerância respectivo para cada frequência de operação:

TABELA 51 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES Á TODOS OS LINKS

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Probabilidade de Inoperância em razão do Desvanecimento não seletivo [tempo em %]	Pns (f1)	3,40E-09	3,29E-09	9,28E-09	2,47E-09	1,00E-09	3,0E-09
		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	Pns (f2)	2,46E-10	2,22E-07	8,64E-06	2,09E-07	1,75E-05	3,52E-05
		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	Pns (f3)	2,52E-10	7,73E-08	1,97E-06	6,77E-08	5,25E-06	9,75E-06

- Valores obtidos referentes à probabilidade de inoperância em razão do desvanecimento seletivo baseou-se na Eq. (65)

TABELA 52 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES Á TODOS OS LINKS.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Probabilidade de Inoperância em razão do Desvanecimento seletivo [tempo em %]	Ps (f1)	9,71E-09	2,88E-09	1,514E-09	2,2E-09	1,71E-09	6,7E-09
	Ps (f2)	3,76E-08	1,10E-08	5,712E-09	8,6E-09	6,32E-09	2,5E-08
	Ps (f3)	3,62E-09	1,05E-08	5,241E-09	8,2E-09	5,60E-09	2,3E-08
	Ps (f3)'	3,16E-09	9,22E-09	4,578E-09	7,1E-09	4,89E-09	2,0E-08

- Valores referentes a uma estimativa da probabilidade do período de inoperância em minutos por ano baseou-se na Eq. (68). Para este calculo também considerou-se o limiar de recepção com maior margem de tolerância respectivo para cada frequência de operação:

TABELA 53 - RESULTADOS DA PROBABILIDADE DO PERÍODO DE INOPERÂNCIA EM MINUTOS POR ANO.

Probabilidade do período inoperância em minutos por ano [% tempo]	Quando K = 4/3	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	$I_M (f1)$	1,00E-06	3,32E-05	9,28E-04	2,5E-04	2,0E-04	3,0E-03
	Quando K=mínimo	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	$I_M (f2)$	3,78E-05	2,33E-04	8,64E-04	2,1E-04	1,7E-04	3,5E-03
	Quando K = ideal	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	$I_M (f3)$	3,87E-05	8,78E-04	1,97E-04	7,5E-04	5,2E-04	9,7E-03
	$I_M '(f3)'$	6,02E-04	9,32E-02	4,12E-02	1,7E-01	1,1E-01	5,6E-01

5.35.1 Determinação da Porcentagem do Tempo em Operação

Como o próprio nome diz a porcentagem de tempo em operação de um sistema representa o tempo no qual o sistema opera com níveis e sinais iguais ou abaixo de um determinado valor limite estabelecidos pelo equipamento (limiar de recepção). No caso desta análise apenas será contemplado o limiar de recepção com maior margem K de tolerância. Do exposto desprendem-se as seguintes análises:

- Valores referentes à porcentagem de tempo em operação dada pela Eq. (69):

TABELA 54 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES À PORCENTAGEM DE TEMPO EM OPERAÇÃO.

Porcentagem em Operação [%]	Quando K = 4/3	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	Pop (f1)	99,99989	99,99976	99,99913	99,99974	99,99982	99,99696
	Quando K=mínimo	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	Pop (f2)	99,99962	99,99966	99,99907	99,99978	99,99979	99,99646
	Quando K = ideal	<i>Link 1</i> (CP-M)	<i>Link 2</i> (CP- C)	<i>Link 3</i> (CP-SLP)	<i>Link 4</i> (M-C)	<i>Link 5</i> (M-SLP)	<i>Link 6</i> (C-SLP)
	Pop (f3)	99,99961	99,99959	99,99889	99,99950	99,99968	99,99939

5.36 RESULTADO DOS PARÂMETROS REFERENTES À CONFIABILIDADE

A confiabilidade de um *link* de transmissão se traduz como sendo a habilidade no qual o sistema executa suas funções dentro de limites e condições operacionais durante um tempo definido. Infelizmente, vários fatores tais como as tolerâncias dos fabricantes de acordo com as condições operacionais dificultam esta determinação e na prática o que se consegue é expressar estatisticamente a confiabilidade através da probabilidade das falhas que ocorrerem dentro de um período de tempo. Do exposto sumarizam-se as análises consideradas:

- Valores obtidos para porcentagem de tempo com falhas no equipamento dada pela Eq.(70)

TABELA 55 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES À PORCENTAGEM COM FALHAS NO EQUIPAMENTO.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Porcentagem de Tempo com Falhas no Equipamento [%]	Tf (f1)	3,1721	3,1762	3,1675	3,1725	3,1519	3,1442
	Tf (f2)	3,2199	3,2143	3,2187	3,2063	3,1951	3,1774
	Tf (f3)	3,1943	3,1920	3,1888	3,1800	3,1649	3,2032

As Tabelas 56 e 57 mostram os valores obtidos referentes tempo total de interrupção devido à falha do equipamento em (horas/ano) que é dado pela Eq. (71):

TABELA 56 - RESULTADOS DO TEMPO TOTAL DE INTERRUPTÃO DEVIDO À FALHA DO EQUIPAMENTO.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Tempo Total de Interrupção devido a Falhas no Equipamento [hora/ano]	Tif (f1)	15,8608	15,8812	15,8376	15,8627	15,7599	15,7214
	Tif (f2)	16,0999	16,0715	16,0937	16,0318	15,9757	15,8870
	Tif (f3)	16,0162	15,9719	15,9601	15,94406	15,9001	15,8249

TABELA 57 - PORCENTAGEM DO TEMPO TOTAL DE INTERRUPTÃO DEVIDO À FALHA DO EQUIPAMENTO.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Tempo Total de Interrupção devido a Falhas no Equipamento [%]	Tif (f1)	0,1810	0,1812	0,1807	0,1810	0,1799	0,1794
	Tif(f2)	0,1837	0,1834	0,1837	0,1830	0,1823	0,1813
	Tif (f3)	0,1828	0,1823	0,1821	0,1820	0,1815	0,1806

- Valores obtidos referentes á indisponibilidade do sistema devido aos efeitos de propagação dada pela Eq.(72):

TABELA 58 - RESULTADOS DA INDISPONIBILIDADE DO SISTEMA DEVIDO EFEITOS DE PROPAGAÇÃO.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Indisponibilidade do Sistema devido à Falha de propagação [%]	$I_e (f1)$	0,8849	0,8833	0,8818	0,8787	0,8756	0,8726
	$I_e (f2)$	0,8818	0,8802	0,8787	0,8771	0,8741	0,8710
	$I_e (f3)$	0,8928	0,8912	0,8896	0,8896	0,8880	0,8865

- Valores obtidos referentes á indisponibilidade total do sistema dada pela Eq.(73):

TABELA 59 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES INDISPONIBILIDADE TOTAL DO SISTEMA.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Indisponibilidade Total do Sistema [%]	$I_t (f1)$	1,0660	1,0647	1,0626	1,0598	1,0555	1,0520
	$I_t (f2)$	1,0656	1,0637	1,0624	1,0602	1,0565	1,0524
	$I_t (f3)$	1,0757	1,0736	1,0718	1,0717	1,0696	1,0671

- Valores obtidos referentes á disponibilidade total do sistema dada pela Eq.(74):

TABELA 60 - RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES DISPONIBILIDADE TOTAL DO SISTEMA.

		Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
Disponibilidade Total do Sistema [%]	D (f1)	99,9923	99,9754	99,9510	99,9778	99,9572	99,9427
	D (f2)	99,9923	99,9754	99,9510	99,9778	99,9572	99,9427
	D (f3)	99,9923	99,9754	99,9510	99,9778	99,9572	99,9427

- Os Gráficos 13, 14 e 15 mostram os valores obtidos referentes confiabilidade final do sistema e foram calculados pela Eq.(75)

GRÁFICO 13 - REFERENTE À CONFIABILIDADE FINAL DO SISTEMA – K=4/3

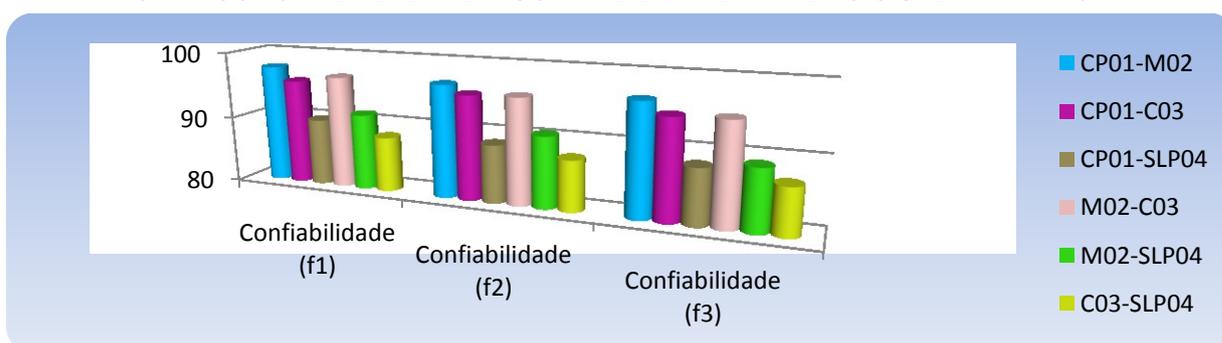


GRÁFICO 14 - REFERENTE À CONFIABILIDADE FINAL DO SISTEMA – K=MÍNIMO

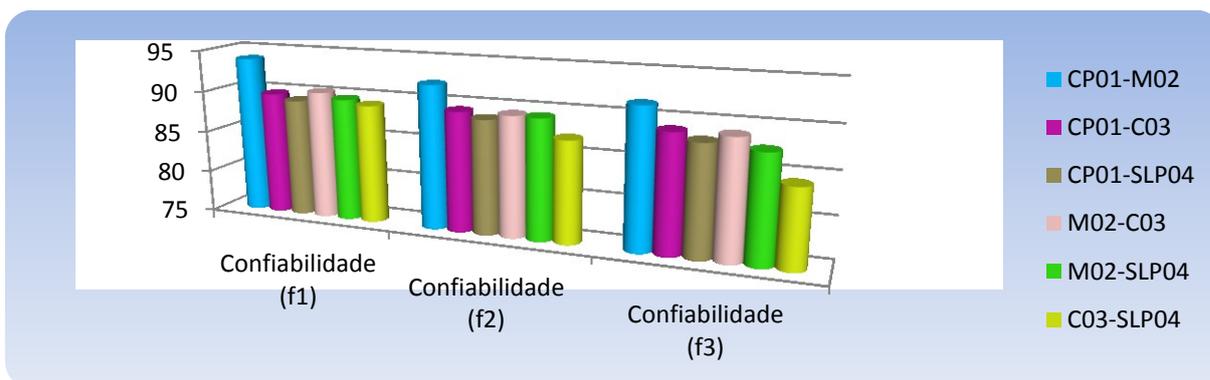
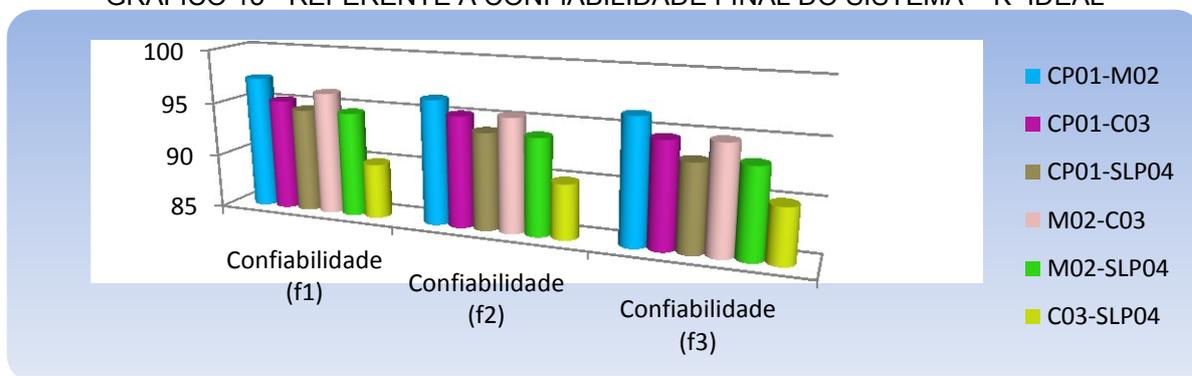


GRÁFICO 15 - REFERENTE À CONFIABILIDADE FINAL DO SISTEMA – K=IDEAL



Segundo a norma ITU-T G.821 e a Resolução da ANATEL de nº 368 afirmam que um sistema para ser considerado eficiente precisa operar corretamente ao longo de um completo intervalo de tempo. Normalmente usa-se como parâmetro de referência, que o sistema funcione com uma porcentagem superior a 90%. Do exposto pode se observar que apenas o *link* CP01_M02 apresenta uma taxa de confiabilidade acima de 90% em relação às frequências de operação para todas as possíveis alturas de torre. Já em relação aos *links* CP01_C03, CP01_SLP04, M02_C03 e M02_SLP04 percebe-se que somente para os cenários nos quais $k = 4/3$ e $k = \text{ideal}$ a taxa se mantém superior ao limite referenciado. Para o caso do *link* C03_SLP04 a confiabilidade do sistema só é satisfatória apenas quando $k = 4/3$ operando somente na frequência 3,5 GHz. Vale ressaltar que assim como os outros pontos relevantes que foram aqui discutidos, analisar a confiabilidade final do enlace também representa um fator indispensável na finalização da avaliação do sistema.

5.37 DIAGRAMA DE NÍVEIS DE SINAIS

A elaboração dos diagrama de níveis de sinais representa a solidificação da proposta metodológica que este trabalho procurou deixar de contribuição no processo de concepção de um sistema de transmissão. Ao longo dos capítulos precedentes foram abordados e discutidos diferentes aspectos do que cerne a base de radiopropagação assim como os diversos aspectos legislatórios que envolvem projetos de rádio enlace para aplicações ponto a ponto assim como em aplicações ponto multiponto. O diagrama neste trabalho se traduz como uma ferramenta útil e suficientemente simplificada, pois de um modo esquemático e visual oferece ao projetista uma facilidade de entender as etapas do processo e conseqüentemente seus resultados. Informações referentes as atenuações que o sinal sofre ao longo do percurso podem servir de ponto de discussão para estabelecer critérios que melhore (caso haja necessidade) estas perdas no sistema como por exemplo soluções relacionadas a inserção de cabos com menores perdas, antenas com maiores ganho ou até mesmo a adição de repetidoras para enlace com distancias longas.

Assim como estas informações auxiliam o conceptor no resultado das perdas do seu sistema, dados como níveis de sinais tal como aos níveis de ruído também são itens possíveis de serem discutidos através do diagrama buscando neste caso, avaliar o nível do sinal recebido em relação ao limiar de recepção (limite no equipamento que pode ser de alto ou médio desempenho) , em virtude do ruído total (ruído térmico, ruído de eco, ruído devido a polarização paralela e cruzada, relação sinal-ruído) gerado naquele sistema, assim como também as através da verificação da margem de desvanecimento que oferece ao sistema uma noção de como ele esta operando. Vale ressaltar que aspectos relacionados a confiabilidade do sistema também podem ser avaliados no diagrama. Do exposto, por motivo de organização do capítulo serão mostrados apenas as análises referentes as três frequências de operação estudadas aqui considerando neste caso os resultados obtidos em condições melhores apenas para o link CP01-M02 (região urbana densa). A Figura 31, 32 e 33 evidenciam os diagramas de níveis:

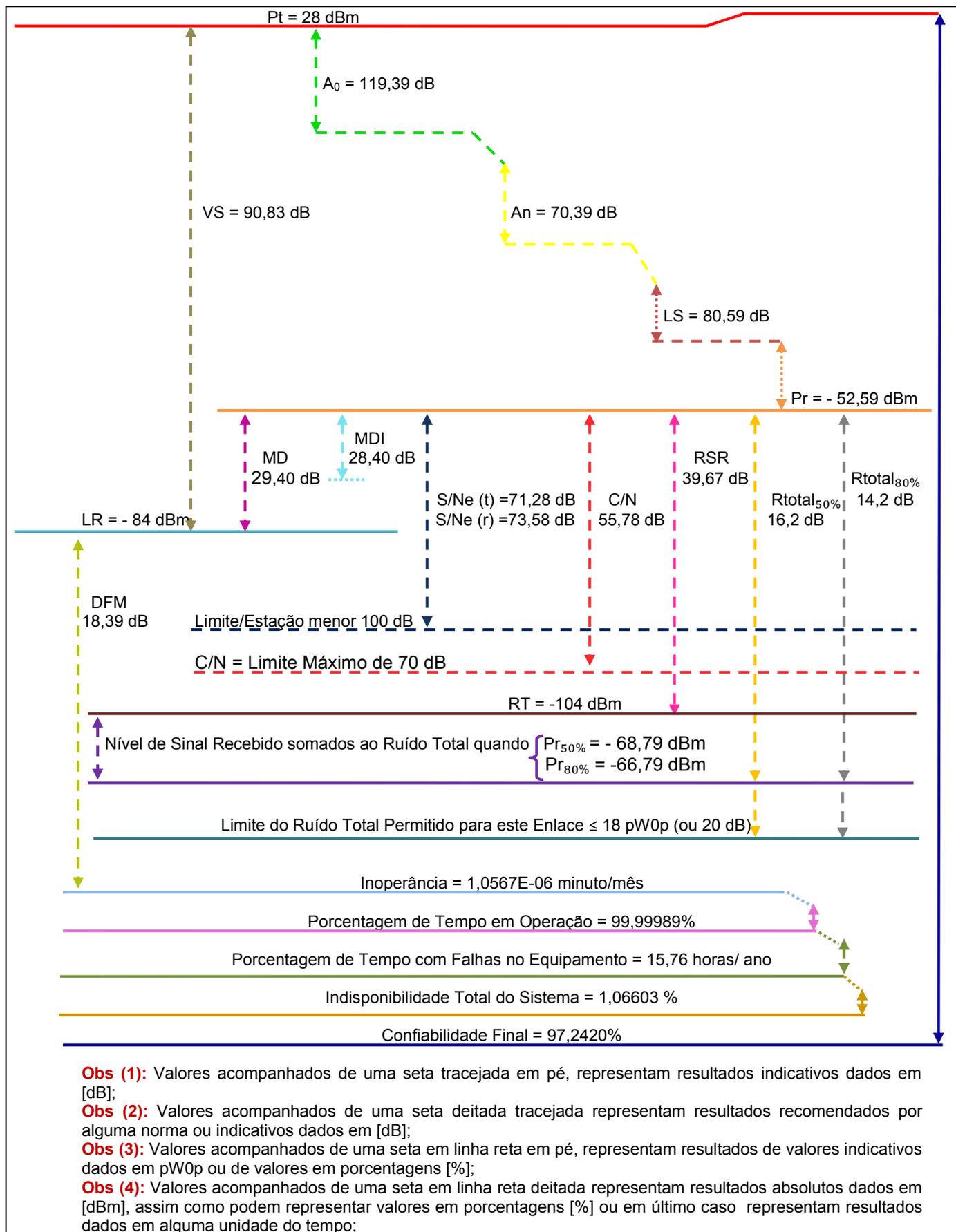


FIGURA 31 - REFERENTE AO LINK CP01-M02 EM RELAÇÃO À FREQUÊNCIA DE 3,5 GHz.

Através do diagrama de níveis de sinais exposto na Figura 31, foi possível descrever e visualizar o comportamento do enlace operando na frequência de 3,5 GHz. Isto posto, notou-se que para um sinal transmitido em uma potência de 28 dBm, o enlace apresentou uma atenuação total de 80,59 dB (considerando uma distância de 6,39 km). Ao se analisar primeiramente apenas a contribuição dos fatores comuns e inerentes a propagação previstos e considerados neste sistema de transmissão se obteve uma potência de recepção em torno de -52,59 dBm (para um limiar de recepção de - 84 dBm designado a este equipamento).

A partir dessas informações foi possível estabelecer várias observações. Dentre elas a margem de desvanecimento – MD, que para este *link* apresentou um resultado de 29 dB que dentro dos padrões indicativos que foram descritos no tópico 5.27, corresponde a um enlace de alta confiabilidade tornando-se ideal para aplicações (serviços) que exigem uma alta qualidade de desempenho. Ao se analisar a margem de desvanecimento devido a interferência – MDI considerou-se 1 dB (valor comumente tomado como referência para enlaces sob linha de visada direta) de contribuição ao sistema resultando no valor de 28 dB.

Já a relação sinal/ruído – R/S para este enlace ficou em torno 39,63 dB e a relação portadora/ruído – C/N apresentou o resultado de 55,78 dB caracterizando neste caso, um *link* que opera em condições consideradas satisfatórias pois resultados obtidos (para R/S e C/N) se encontram acima de 40 dB em relação a uma possível degradação do sinal. O ruído total calculado para este sistema representa como foi explicado ao longo desse trabalho nada mais do que, a soma em pW0p de todos o ruídos considerados relevantes que atuam de forma incisiva no enlace que na presente análise considerou-se: ruído de eco, ruído térmico, contribuição do ruído para 50% e 80% do tempo em que o equipamento opera e o ruído devido a polarização cruzada e paralela.

Do exposto segundo o que é recomendado por [3], (que diz que o nível de ruído deve ficar em torno de 18 pW0p ou 20 dB para enlaces que operem entre 3 GHz á 10 GHz em distâncias de até 50 km), o $R_{total50\%}$ e o $R_{total80\%}$ apresentaram resultados dentro das expectativas esperada pois seus valores variaram dentro do limite recomendado e são mostrados e analisados em duas perspectivas como pode ser observados no diagrama acima.

De acordo com o processo de análise da confiabilidade final de um sistema de transmissão, foram considerados para tal: análise referente a inoperância do sistema, inoperância devido ao desvanecimento seletivo e não seletivo, estimativa da probabilidade do período de inoperância em minutos por ano, porcentagem do tempo em operação, porcentagem de falhas do equipamento, indisponibilidade total do sistema e a confiabilidade final. Segundo a norma ITU-T G.821 e a Resolução da ANATEL de nº 368 afirmam que um sistema para ser considerado eficiente precisa operar corretamente ao longo de um intervalo de tempo. É comumente utilizado como parâmetro de referência, que o sistema opere com uma porcentagem superior a 90% do tempo. Baseado nesta informação pode se observar que este *link* apresentou uma taxa de confiabilidade acima de 90% em relação a frequência de operação de 3,5 GHz como mostra o diagrama de níveis.

Vale ressaltar que os parâmetros considerados para esta frequência assim como o esquema de análise empregado em relação a mesma, foi adotada como referência para as demais frequências de estudo (5 GHz e 8,5 GHz). Logo, não se tornou necessário descrever as mesmas considerações atribuídas a Figura 31 para aos demais diagramas (Figuras 32 e 33) que serão apresentados a seguir.

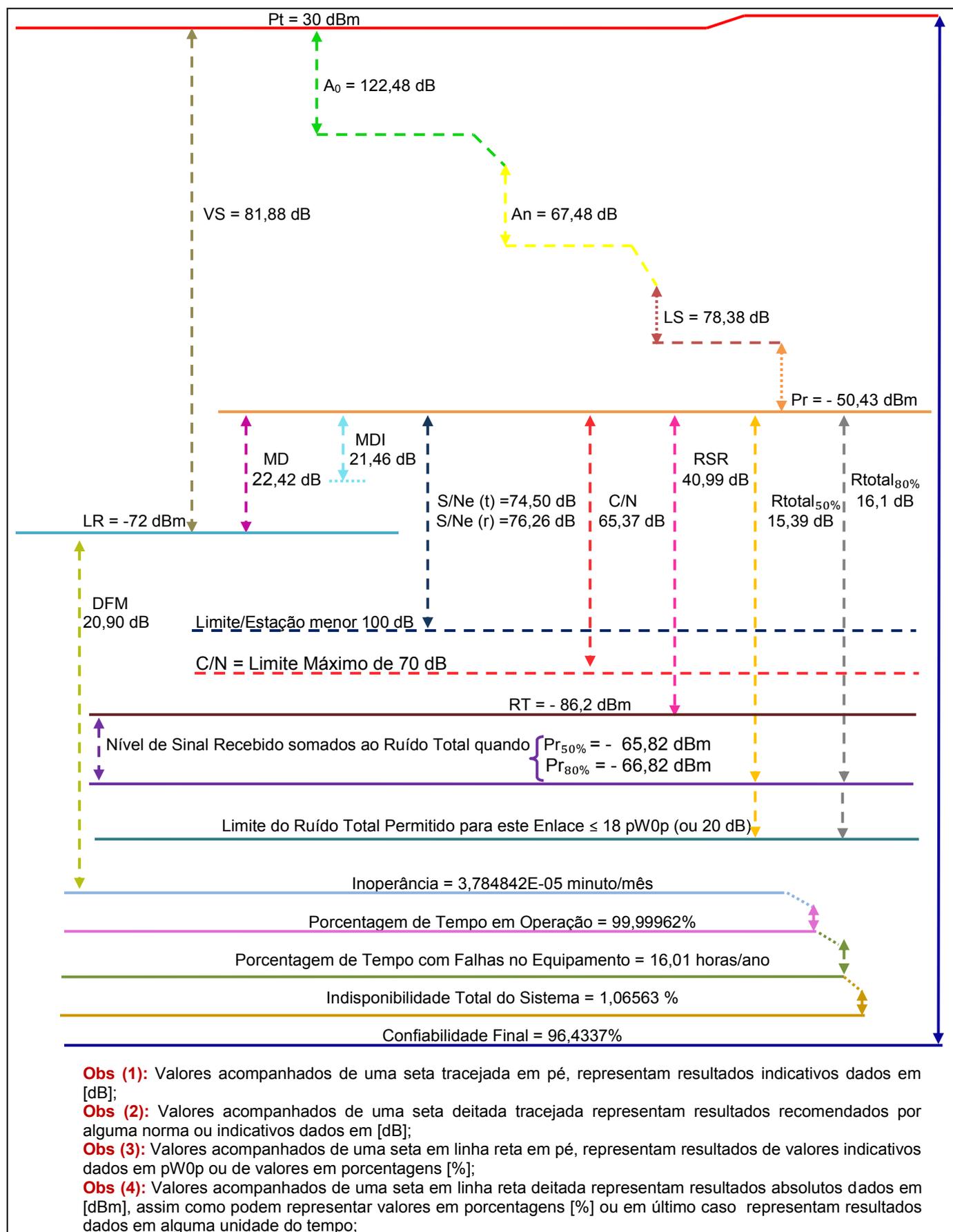


FIGURA 32 - REFERENTE AO LINK CP01-M02 EM RELAÇÃO A FREQUÊNCIA DE 5 GHz.

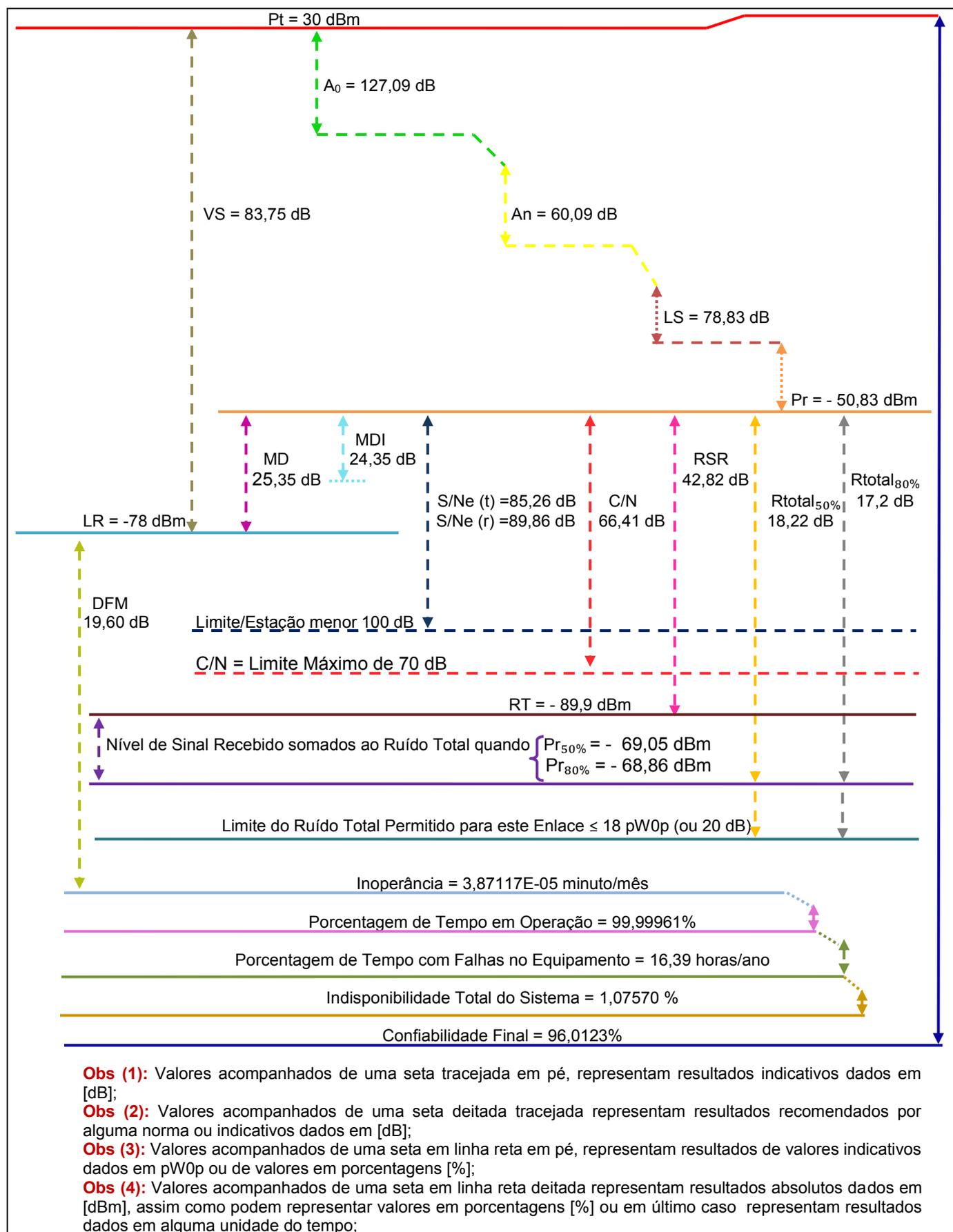


FIGURA 33 - REFERENTE AO LINK CP01-M02 EM RELAÇÃO À FREQUÊNCIA DE 8,5 GHz.

5.38 CONCLUSÃO

Apresentou-se a partir da teoria discorrida, um fluxograma que norteia os passos de concepção. Além disso, foi feita a apresentação dos resultados obtidos através de uma planilha eletrônica onde se considerou os procedimentos metodológicos para concepção de rádio enlace multi ponto em consonância com a legislação vigente. Observa-se que a consideração individual de funcionamento do enlace retrata um desempenho considerado satisfatório. Como nenhum projeto de concepção deve ser realizado para operação individual e sim coletivo, e então sob esta ótica, a eficiência final do mesmo deve se dar em perfeita adequação de funcionamento com o grupo de serviços que compartilham a mesma faixa. A avaliação de desempenho do enlace em tela dependerá da consideração dos fatores aqui elencados que em maior ou menor grau incidirão no desempenho final do sistema.

5.39 REFERÊNCIAS

- [1] MIYOSHI, E. M;” **Projeto de Sistemas Rádio**”. 3ª Edição Revisada. Editora Érica. 2006.
- [2] TERTULIANO Filho, H.,”**Metodologia de Equacionamento e Parametrização de Enlaces de Rádio Frequência**”, Editora UFPR, volume 1, 2010.
- [3] GOMES.R.G.Geraldo “**Sistemas de Radioenlace Digitais Terrestres e por Satélite**”, Editora: Érica, São Paulo – 2013.
- [4] ETSI TR 102 243-1. “**Fixed Radio Systems; Representative values for transmitter power and antenna gain to support inter- and intra-compatibility and sharing analysis; Part 1: Digital point-to-point systems**”. In: <http://www.etsi.org>. Acesso em agosto de 2014.
- [5] VINCENT. F. Fusco, “**Teoria e pratica de antenas**”, Ed. Bookman, Porto Alegre 2006. KRAUS, John D., Antenas. 1ª edição. Ed.LTC.
- [6] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 367 de 13 de maio de 2004: “**Aprova a Norma para Certificação e Homologação de Antenas Direcionais de**

Abertura". In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em abril de 2013.

[7] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. "**Resolução nº 537 de 26 de fevereiro de 2010: Regulamento sobre canalização e condições de uso da faixa de 3,5 GHz**". In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em abril de 2013.

[8] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. "**Resolução nº 495 de 10 de agosto de 2010: Regulamento sobre canalização e condições de uso da faixa de 5 GHz**". In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em abril de 2013.

[9] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. "**Resolução nº 106 de 26 de fevereiro de 1999: Regulamento sobre canalização e condições de uso da faixa de 8,5 GHz**". In: <http://www.anatel.gov.br> > Radiofrequência > Legislação. Acesso em abril de 2013.

[10] NETO, Vicente S. PETRUCCI, Lucílio A. TEIXEIRA Paulo Sérgio A. "**Telecomunicações: Sistemas de Propagação de Rádio Enlace**". Editora Érica, 1999.

[12] MANITO, R. R., "**Estudo de Viabilidade de Rádio Enlace**", URGs, Porto Alegre, 2010.

[13] BARRADAS, O. "**Sistemas Radiovisibilidade**". 2ª Edição. Editora LTC. 1978.

[14] STALKE, R. F., "**Análise e estudo da influência dos efeitos atmosféricos na propagação de ondas eletromagnéticas na faixa SHF: Estudo de caso e aplicação a um enlace operando em 23,6 GHz**". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR, Curitiba, 2006.

[15] ÍCONE, "**Inteligência em Redes Multiserviços**" – In: <http://www.iconne.com.br>. Acesso em abril de 2014.

[16] CGI.BR. "**Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação no Brasil**" 2009 e 2010. Acesso em abril de 2013.

[17] Superintendência de Radiofrequência e Fiscalização – "**Relatório Gerencial 2010**". In: <http://www.anatel.gov.br/> Acesso em maio de 2013.

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram abordados os principais aspectos que impactam, ou, que podem vir a impactar o desempenho de um sistema de transmissão, com foco na qualidade de serviço. Uma metodologia foi desenvolvida visando à obtenção de dados que compõem o QoS do sistema multiponto e multicanal. Para tal, procurou-se a compreensão de como são licenciadas as frequências, como são feitas as atribuições de serviço e quais os procedimentos para solicitação de uso. Na sequência, uma vez escolhida a frequência de interesse foi realizada uma análise exaustiva da legislação vigente que regulamenta o uso dos serviços desta frequência. Para efeito de validação criou-se um cenário de aplicação onde toda uma análise técnica de engenharia foi realizada mantendo como enfoque principal os aspectos relacionados à geometria, frequência, potência, atenuações e ruídos visando atingir níveis de confiabilidade aceitáveis para cada sistema.

Percebeu-se neste trabalho que o uso da legislação se faz sentir prioritariamente na escolha do nível de potência, nas referências indicativas em relação ao ruído máximo permitido dentro de um sistema, bem como a análise no processo de canalização das faixas e aplicação de serviços, pois os mesmos não poderiam causar interferências entre usuários dentro de um mesmo canal e, sobretudo no processo para determinar a confiabilidade final de cada *link*, garantindo dessa maneira uma possível convivência entre o grupo de serviços que compartilham a mesma faixa. A elaboração de diagramas de níveis de sinal para verificação dos níveis interpostos pela legislação com os resultados obtidos no processo de concepção também foi outro ponto de destaque neste trabalho.

Uma das grandes dificuldades deste trabalho repousa no fator bibliográfico, pois grande parte do material bibliográfico que se teve acesso vincula a concepção do sistema a fatores antigos com pouco ou nenhum uso nos dias correntes, sendo, portanto muito antigas. Não se encontrou na literatura atual nenhum documento que pensasse na concepção do sistema sob a ótica da Engenharia de Transmissão. Do exposto, foi feito um enorme esforço no sentido de se depurar o que exatamente ainda é aplicado nos dias atuais dos fatores específicos utilizados nas décadas de

50 e 60. Por isso, orgulha-se de se apresentar nesta dissertação procedimentos para a concepção de um sistema de transmissão com parâmetros atualizados capazes de contribuir através da - metodologia de concepção – aqui apresentada para todo aquele que no seu dia-a-dia labuta na melhoria da qualidade dos serviços de telecomunicações nos mais diversos pontos deste país.

6.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Como perspectivas futuras para o desenvolvimento deste trabalho são feitas as seguintes sugestões:

- Desenvolvimento do processo de concepção por *software* e comparação, quando possível com os programas comerciais existentes;
- Considerar parâmetros relacionados a um sistema de comunicação onde cálculos relacionados a diferentes tipos de modulação e suas respectivas taxas de transmissão possam ser analisados;
- Medições em campo e aplicação a um sistema real.

ANEXO 1

- RESULTADO DAS PERDAS DEVIDO AO CABO CONSIDERANDO AS RESPECTIVAS ALTURAS DE TORRE PARA FREQUÊNCIA DE 3.5 GHz:

Perda no Cabo em [dB]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcAB (f1)	6,80	5,07	5,35	6,11	6,41	8,83
	PcAB (f1)'	10,60	6,99	7,38	8,43	8,84	12,18
	PcAB (f1)''	14,01	10,34	10,92	12,47	13,08	16,02
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcAB (f1)	8,60	6,13	9,49	7,27	9,09	11,57
	PcAB (f1)'	8,39	8,46	13,10	8,65	12,54	15,96
	PcAB (f1)''	11,79	12,51	18,37	13,79	17,55	18,61
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcAB (f1)	7,51	5,63	5,93	6,67	6,98	9,20
PcAB (f1)'	11,31	7,77	8,18	9,203	9,63	12,69	
PcAB (f1)''	14,71	11,50	12,10	13,61	14,24	17,77	

- RESULTADO DAS PERDAS DEVIDO AO CABO CONSIDERANDO AS RESPECTIVAS ALTURAS DE TORRE PARA FREQUÊNCIA DE 5 GHz:

Perda no Cabo em [dB]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcB (f2)	9,86	6,27	7,96	8,51	8,94	10,40
	PcB (f2)'	12,65	8,65	10,99	11,74	12,33	13,11
	PcB (f2)''	16,05	12,80	16,25	15,36	18,24	15,30
	Quando k =mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcB (f2)	7,41	8,10	10,41	9,98	10,09	12,84
	PcB (f2)'	10,20	11,18	14,36	12,40	13,92	17,12
	PcB (f2)''	13,60	15,54	18,25	13,34	20,59	16,28
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcB (f2)	7,54	6,95	8,65	6,67	9,62	11,36
PcB (f2)'	10,33	9,59	11,94	12,67	13,27	15,71	
PcB (f2)''	13,73	14,19	17,66	15,74	19,63	19,20	

- RESULTADO DAS PERDAS DEVIDO AO CABO CONSIDERANDO AS RESPECTIVAS ALTURAS DE TORRE PARA FREQUÊNCIA DE 8.5 GHz:

Perda no Cabo em [dB]	Quando K = 4/3	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcC (f3)	9,74	9,45	12,11	11,66	11,97	12,35
	PcC (f3)'	12,54	13,04	14,71	12,47	13,51	12,56
	PcC (f3)''	14,25	15,29	16,72	15,83	14,42	15,37
	Quando K=mínimo	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcC (f3)	10,04	12,70	14,81	13,33	13,65	13,94
	PcC (f3)'	12,83	14,52	16,68	14,77	16,83	15,27
	PcC (f3)''	16,23	15,91	17,93	16,24	17,85	17,85
	Quando K = ideal	Link 1 (CP-M)	Link 2 (CP- C)	Link 3 (CP-SLP)	Link 4 (M-C)	Link 5 (M-SLP)	Link 6 (C-SLP)
	PcC (f3)	10,31	10,35	13,69	12,55	12,86	13,52
PcC (f3)'	13,11	14,28	15,52	15,70	15,74	14,35	
PcC (f3)''	16,50	16,12	17,91	16,65	16,24	18,53	

ANEXO 2

- O resultado referente à atenuação total do sistema para o *link PC01-C03* é referentes as três frequências é mostrado no Gráfico 1:

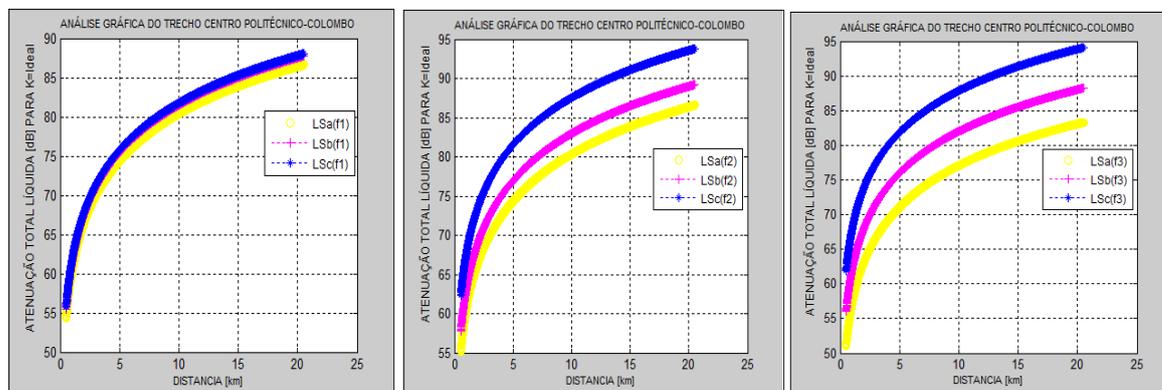


GRÁFICO 1

- Resultado referente à atenuação total do sistema para o *link PC01-SLP04* é referentes as três frequências é mostrado no Gráfico 2:

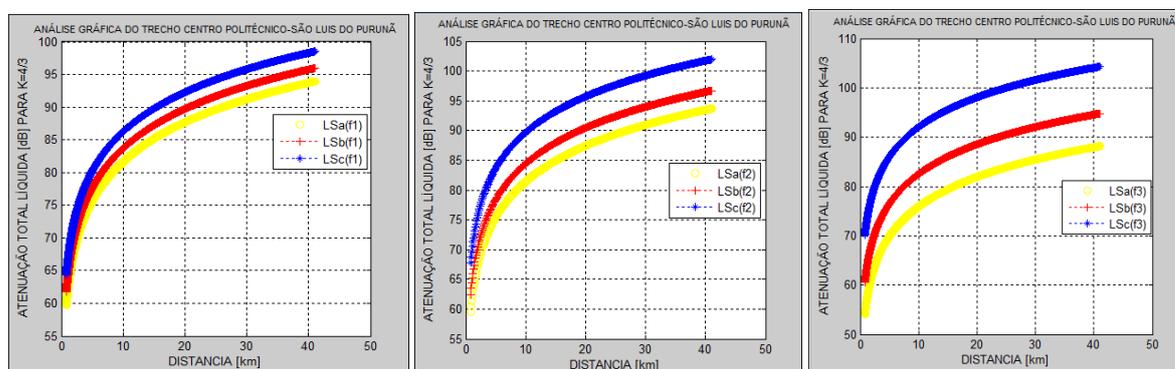


GRÁFICO 2

- Resultado referente à atenuação total do sistema para o *link M02-SLP04* é referentes as três frequências é mostrado no Gráfico 3:

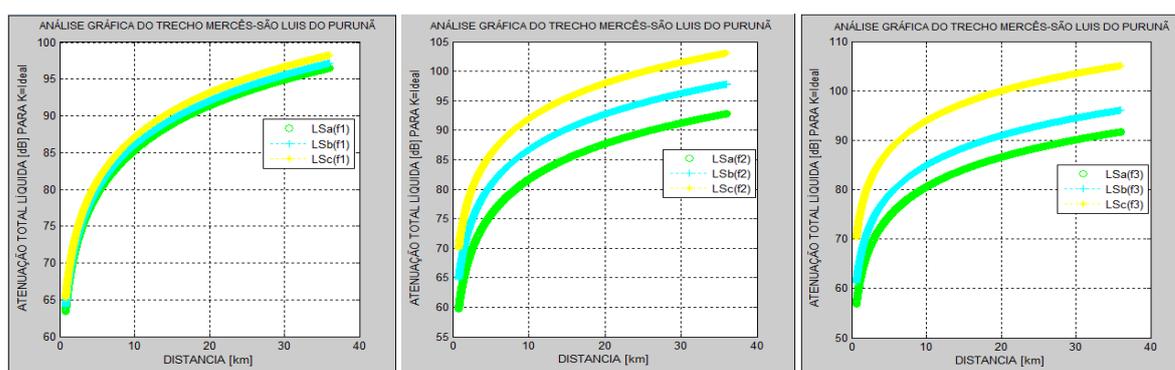


GRÁFICO 3

ANEXO 3

Carta de Aceitação

**NGMAST'14 8th International Conference on
Next Generation Mobile Applications, Services,
and Technologies 2014
(University of Oxford – LONDRES –
SETEMBRO DE 2014).**

Dear Ms. Theoma Ootobo :

The reviewing process for 8th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services, and Technologies 2014 has been completed. I am pleased to inform you that your paper 1569971101 (Efficiency, Reliability and Availability for 3,5 GHz Transmission Systems) for NGMAST'14 has been accepted.

Congratulations.

ANEXO 4

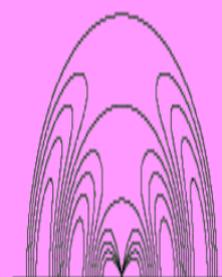
Cópia de Artigo Técnico-científico e carta de aceitação ao Congresso PIERS 2013 *Progress in Electromagnetics Research.* (Estocolmo – Suécia – agosto de 2013).

PIERS 2013 in Stockholm

Progress in Electromagnetics Research Symposium

12-15 August 2013

Stockholm, Sweden



August 1, 2014

Dr. Theoma M. Sanchez Otobo
Telecommunication Laboratory
Department of Electrical Engineering, Technology Sector
Federal University of Paraná
Curitiba
Brazil

Dear Dr. Theoma M. Sanchez Otobo

It is our pleasure to inform you that PIERS 2013 in Stockholm has accepted the following article(s) to be presented in the conference:

- 130429201609: Conception of Radio Frequency Link in the Radio of 3.5 GHz in Consonance with the National Brazilian Rules and International Legislation
- 130501212226: Digital Public Safety Radio Communication

I am writing to cordially invite you to participate in the coming Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS) to be held on August 12–15, 2013 in Stockholm, Sweden. Each participant should complete the registration process for the symposium and pay non-refundable registration fee. There is no financial subsistence provided for our invitees.

For detailed information on the symposium, program updates, registration fee, etc., please visit the symposium website at
<http://www.piers.org/piers2013Stockholm/>

We very much look forward to your participation at PIERS 2013 in Stockholm.

On behalf of the Organizing Committee,

Sincerely,

Sailing He
General Chair
PIERS 2013 in Stockholm