

Guilherme Bilbao Soares da Silva

Emissora FM em São Pedro de Alcântara

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte das atividades para obtenção
do título de tecnólogo em sistemas de
telecomunicações do Instituto Federal de
Santa Catarina - IFSC

Orientador

Prof. Jaci Destri

São José

2013

Trabalho de conclusão de curso sob o título “ *Emissora Fm em São Pedro de Alcântara* ”, defendida por Guilherme Bilbao Soares da Silva e aprovada 12 de fevereiro de 2008, em São José, Estado de Santa Catarina, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof^a. Fulana de Tal
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Beltrana de Tal
Nome da Instituição

Prof. Dr. Beltrano de Tal
Universidade Imaginária

*Este trabalho é dedicado à todos que
acreditaram em mim, inclusive eu mesmo.*

Agradecimentos

Ao término deste trabalho, deixo aqui meus sinceros agradecimentos:

- a Deus por tudo;
- ao Prof. Dr. NOME DO PROFESSOR ORIENTADOR, por toda dedicação, paciência e estímulo em sua orientação;
- a todos os professores do Departamento de NOME DO DEPARTAMENTO da NOME DA INSTITUIÇÃO;
- Aos professores NOME DOS PROFESSORES DA PRÉ-BANCA E/OU BANCA pelas valiosas sugestões;
- a minha família, pelo incentivo e segurança que me passaram durante todo esse período;
- aos amigos do curso de NOME DO CURSO QUE ESTÁ REALIZANDO pelo agradável convívio;
- a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho;
- à NOME/SIGLA DA INSTITUIÇÃO DE FOMENTO pelo auxílio financeiro.

“ Nossa curiosidade é proporcional a nossa cultura.”

Rousseau.

Resumo

Digite seu resumo aqui.

Abstract

Write here the English version of your 'Resumo'...

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	PLANO BÁSICO DE DISTRIBUIÇÃO DE CANAIS DE RADIODIFUSÃO SONORA EM FREQUÊNCIA MODULADA (PBMF)	12
2.1	CANALIZAÇÃO	12
3	RESOLUÇÃO N° 67, DE 12 DE NOVEMBRO DE 1998	14
3.1	RECOMENDAÇÃO UIT-R P.1546	14
3.1.1	Conceitos Básicos	15
3.2	ADAPTAÇÕES DA RECOMENDAÇÃO	16
3.2.1	Nível Médio do Terreno	16
3.2.2	Altura da antena transmissora	16
3.3	PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO DE VIABILIDADE TÉCNICA	16
3.3.1	Contorno protegido	16
3.3.2	Contornos Interferentes	17
4	CANAL PROPOSTO	18
4.1	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	18
4.1.1	Enquadramento na classe	18
4.2	NÍVEL MÉDIO DO TERRENO E ALTURA ACIMA DO NÍVEL MÉDIO DO TERRENO	19
4.2.1	Nível médio da Radial (NMR) e Nível médio do Terreno (NMT)	19
4.2.2	Altura Acima do nível médio do Terreno	21

4.3	CONTORNO PROTEGIDO	25
5	DEFINIÇÕES DO SISTEMA IRRADIANTE	26
5.1	SISTEMA IRRADIANTE	26
5.1.1	Antena	26
5.1.2	Guia de onda e conectores	27
5.1.3	Transmissor	27
5.1.4	Cálculos de ERPmax, ERPaz e a orientação da antena	28
6	DESENVOLVENDO A EMISSORA FM	31
6.1	ESPECIFICAÇÕES DEFINIDAS	31
6.2	DEFININDO O CONTORNO PROTEGIDO	32
6.2.1	Potências ERPmax e ERPaz	32
6.2.2	Contorno de 66dbm (área de serviço urbana)	33
6.3	Texto Matemático	40
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	Referências	45
	Anexo A – Especificações técnicas do fabricante da antena dipolo utilizada	46
	Anexo B – Especificações técnicas do fabricante do guia de onda utilizado	51

1 INTRODUÇÃO

Estudo e compreensão das normas mais recentes em relação à transmissão de rádio FM, utilizando ferramentas livres oferecidas pela ANATEL

Realizar um estudo de viabilidade técnica de um canal de rádio em frequência modulada, baseando-se num cenário real. Colocar em prática os conhecimentos obtidos das recomendações, aplicando em situação real e possível. Com os resultados obtidos, será elaborada uma solução para cada eventual problema que surgir.

Este projeto tem como objetivo criar uma documentação técnica, que reúna todos os requisitos necessários para que uma emissora de rádio possa ser homologada pela ANATEL, (de acordo com a Resolução N° 67) e, assim, ser utilizada comercialmente.

O que definiu o local de São Pedro de Alcântara como o escolhido para desenvolver este projeto da emissora FM foi, principalmente, o fator "cenário real", proporcionado pela disponibilidade do canal 218, na frequência de XXX Mhz e enquadrado na classe C (classificação das emissoras), através do plano básico administrado pela ANATEL. A idéia de desenvolver um projeto que poderia ser realmente implantado, foi uma motivação a mais. Todos os cálculos, ítems e materiais, que foram definidos e documentados neste projeto, foram pensados e analisados com os cuidados de uma possível execução no futuro.

Outro ponto, é a relativa facilidade de acesso (São Pedro de Alcântara é um município vizinho à São José), isto foi importante para verificação e definição do ponto onde ficaria o sistema emissor. Ao visitar o local, verificamos que já existia uma antena (moradores informaram que trata-se de uma antena de transmissão de TV analógica) em um terreno no centro do município.

Constatando que existe espaço para uma construção de uma nova torre, partimos do princípio que o local, no centro do município, é o mais indicado para instalar nossa estrutura. Assim, definimos o ponto de origem da emissora, exatamente nas coordenadas (informar latitude e longitude).

2 *PLANO BÁSICO DE DISTRIBUIÇÃO DE CANAIS DE RADIODIFUSÃO SONORA EM FREQUÊNCIA MODULADA (PBMF)*

O PBFM foi aprovado em 12 de novembro de 1998, através da Resolução nº67 (referencia), e nele constam os canais FM previstos para uso, em todo o território nacional. A faixa de radiodifusão sonora em frequência modulada estende-se de 87,8 a 107,9MHz, e é dividida em 103 canais (os canais 198,199 e 200 são para uso exclusivo das estações de ROADCOM), cujas portadoras estão separadas de 200KHz. Cada canal é identificado por sua frequência central, que é a frequência da portadora da estação de FM. A cada canal é atribuído um número de 198 a 300.

2.1 CANALIZAÇÃO

A tabela de Canalização da Faixa de FM atual foi publicada na RESOLUÇÃO Nº46, DE 1º DE SETEMBRO DE 2010, que altera o Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada. A tabela 2.1, que segue, foi retirada da RESOLUÇÃO e apresenta a faixa de Frequência para cada canal FM definido pelo Plano Básico.

Frequência (MHz)	CANAL	Frequência (MHz)	CANAL	Frequência (MHz)	CANAL
87,5	198	94,5	233	101,5	268
87,7	199	94,7	234	101,7	269
87,9	200	94,9	235	101,9	270
88,1	201	95,1	236	102,1	271
88,3	202	95,3	237	102,3	272
88,5	203	95,5	238	102,5	273
88,7	204	95,7	239	102,7	274
88,9	205	95,9	240	102,9	275
89,1	206	96,1	241	103,1	276
89,3	207	96,3	242	103,3	277
89,5	208	96,5	243	103,5	278
89,7	209	96,7	244	103,7	279
89,9	210	96,9	245	103,9	280
90,1	211	97,1	246	104,1	281
90,3	212	97,3	247	104,3	282
90,5	213	97,5	248	104,5	283
90,7	214	97,7	249	104,7	284
90,9	215	97,9	250	104,9	285
91,1	216	98,1	251	105,1	286
91,3	217	98,3	252	105,3	287
91,5	218	98,5	253	105,5	288
91,7	219	98,7	254	105,7	289
91,9	220	98,9	255	105,9	290
92,1	221	99,1	256	106,1	291
92,3	222	99,3	257	106,3	292
92,5	223	99,5	258	106,5	293
92,7	224	99,7	259	106,7	294
92,9	225	99,9	260	106,9	295
93,1	226	100,1	261	107,1	296
93,3	227	100,3	262	107,3	297
93,5	228	100,5	263	107,5	298
93,7	229	100,7	264	107,7	299
93,9	230	100,9	265	107,9	300
94,1	231	101,1	266		
94,3	232	101,3	267		

Tabela 2.1: CANALIZAÇÃO DA FAIXA DE FM.

3 *RESOLUÇÃO N° 67, DE 12 DE NOVEMBRO DE 1998*

A Resolução n°67 aprova o Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada. Tem por objetivo disciplinar a utilização da faixa de 87,8 a 108 MHz, no serviço de Radiodifusão sonora em Frequência modulada e em serviços nela executados, para oferecer um serviço de boa qualidade, evitar interferências sobre outros serviços de telecomunicações regularmente autorizados e reduzir possibilidades de danos físicos à população. Para isto, estabelece requisitos mínimos para os equipamentos utilizados em Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada, afim de, além de atender o exposto anterior, racionalizar sua produção industrial.

Este é o documento principal que será usado para a realização deste projeto, pois informa todas as especificações mínimas necessárias para que uma emissora de rádio FM possa ser instalada e liberada para iniciar seus serviços. Um fator importante é sempre ficar atento as novas resoluções que atualizam este regulamento, para que o projeto possa atender as novas exigências.

A última resolução, que altera o regulamento aprovado na RESOLUÇÃO N° 67, foi a de n° 546. Esta altera alguns aspectos importantes para o desenvolvimento do projeto. Como exemplo posso citar a classificação das emissoras em função de seus requisitos máximos e as curvas de intensidade de campo (E (50,10) e E (50,10)), vindos da Recomendação UIT-R P.1546.

As resoluções podem ser consultadas através do portal da ANATEL, através do link <http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/>

3.1 RECOMENDAÇÃO UIT-R P.1546

*** verificar se este tópico se enquadra neste trabalho realmente *** *** verificar a tabela de intensidade de campo na ultima RESOLUÇÃO e bater com as encontradas nos meus cálculos

3.1.1 Conceitos Básicos

A seguir serão descritos parâmetros básicos muito utilizados nos cálculos.

Altura acima do nível médio do terreno

A altura acima do nível médio do terreno (HNMT) é um valor que representa o nível do terreno ao redor da base transmissora.

Para encontrar o seu valor, deve-se obter cotas entre as distâncias de 3 e 15Km da antena e fazer uma média aritmética dos pontos obtidos. As alturas podem variar de 10 a 1200m, conforme a recomendação, porém o documento também descreve um método para, caso seja necessário, extrapolar esses valores.

Curvas E(L,T)

São gráficos que representam a intensidade de campo excedida em L% das localidades e T% do tempo. O método é válido apenas para distâncias de 1 a 1000km da antena transmissora. Os valores tabulados pela recomendação foram obtidos com frequências de valores nominais iguais a 100, 600 e 2000MHz; HNMT de 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 e 1200m ; porcentagem de tempo de 1, 10 e 50%. Uma curva é tracejada para cada tipo de percurso e frequência. Os percursos considerados são: terrestre, sobre o mar morno e sobre o mar frio.

Novamente são descritos métodos para obter intensidade de campo quando esses valores não forem exatamente iguais aos tabulados.

As curvas utilizadas neste estudo são a E(50,50) e E(50,10) que podem ser encontradas na referência [2].

***Indicar a referência do TCC

Implementação computacional da recomendação

***Verificar sobre a utilização do MATLAB (se sobrar tempo...)**

3.2 ADAPTAÇÕES DA RECOMENDAÇÃO

3.2.1 Nível Médio do Terreno

Para efeitos de cálculo, no Brasil o nível médio do terreno (NMT) é calculado obtendo-se 12 valores de nível médio da radial (NMR). O NMR por sua vez é obtido calculando a média aritmética de pelo menos 50 cotas igualmente espaçadas, compreendidas entre as distâncias de 3 a 15km da antena transmissora.

As 12 radiais devem ser também igualmente espaçadas de 30 em 30 graus, e deve incluir a radial do norte verdadeiro. O NMT é então obtido, fazendo-se também uma média aritmética, dos NMR.

***Indicar a referência do TCC

3.2.2 Altura da antena transmissora

Apesar de ser possível calcular a intensidade de campo para valores fora da faixa de 10 a 1200m para altura da antena transmissora, a RESOLUÇÃO considera esses os valores máximos. Ou seja, quando a HNMT da antena for interior a 10m, deve ser tomado o valor de 10m, e quando exceder os 1200m, este valor que deve ser considerado.

***Indicar a referência do TCC

3.3 PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO DE VIABILIDADE TÉCNICA

Utilizando os métodos mencionados, vamos calcular os valores necessários para que um canal de rádio FM possa ser viabilizado.

3.3.1 Contorno protegido

O contorno protegido é a distância entre a antena transmissora até o local geométrico onde a intensidade de campo $E(50,50)$ apresenta o valor de $66dB\mu V/m$, para um canal de rádio FM. A resolução define, através da ultima alteração (RESOLUÇÃO n° 546), que, para a classe C, a distância máxima ao contorno protegido é de 7,5km, a partir da base da antena transmissora.

3.3.2 Contornos Interferentes

*** Verificar ***

4 CANAL PROPOSTO

Para que possa ser autorizado pela ANATEL a utilização de um canal de rádio FM, além da documentação solicitada conforme a resolução, deve ser considerada as características básicas do canal.

4.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Ao analisar os canais disponíveis no Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada, observou-se a existência do canal 218, disponível na região do município de São Pedro de Alcântara.

O canal é enquadrado na classe C, sendo assim, deve seguir os requisitos que caracterizam os canais autorizados para esta classe.

4.1.1 Enquadramento na classe

Como já mencionado, o canal usado para este projeto está enquadrado na classe C, conforme apresentado no plano Básico (ANEXO I), e para que o projeto respeite as especificações desta classe, deve ser observado seus requisitos máximos, que podem ser verificados na tabela 4.1.

Porém, a resolução aceita algumas diferenças aos requisitos apresentados, desde que, ainda assim, respeite algumas outras condições também informadas. Segue estas observações, que foram publicadas na RESOLUÇÃO N°546:

a) Poderão ser utilizadas alturas de antena ou ERP superiores às especificadas na tabela 4.1, desde que não seja ultrapassada, em qualquer direção, a distância máxima ao contorno protegido.

b) Apenas para as emissoras de classe C poderá ser permitida a utilização de transmissor com potência nominal inferior a 50 W.

CLASSES	REQUISITOS MÁXIMOS			
	POTÊNCIA (ERP)		DISTÂNCIA MÁXIMA AO CONTO RNO PROTEGIDO (66dBμ) (km)	ALTURA DE REFERÊNCIA SOBRE O NÍVEL MÉDIO DA RADIAL (m)
	kW	dBk		
E1	100	20,0	78,5	600
E2	75	18,8	67,5	450
E3	60	17,8	54,5	300
A1	50	17,0	38,5	150
A2	30	14,8	35,0	150
A3	15	11,8	30,0	150
A4	5	7,0	24,0	150
B1	3	4,8	16,5	90
B2	1	0	12,5	90
C	0,3	-5,2	7,5	60

Figura 4.1: classificação DAS EMISSORAS EM função DE SEUS REQUISITOS máximos (tabela retirada da resolução).

c)As distâncias apresentadas na TABELA I foram obtidas para o canal 201 e servem como referência para elaboração de estudos sem o uso de ferramentas computacionais.

4.2 NÍVEL MEDIO DO TERRENO E ALTURA ACIMA DO NÍVEL MÉDIO DO TERRENO

A seguir vamos apresentar o método usado para o reconhecimento geométrico do local onde será instalado a emissora. Estes dados são de extrema importância para o sucesso do projeto.

4.2.1 Nível médio da Radial (NMR) e Nível médio do Terreno (NMT)

A resolução exige que sejam tracejadas ao menos 12 radiais com espaçamento angular de 30° e com pelo menos 50 cotas, igualmente espaçadas. O ponto previamente definido, como sendo o local onde a antena será fixada, será a origem das radiais. Para tracejar estas radiais, usei os mapas disponíveis no site do IBGE (citar fonte)(edição de 08-10-2007), na escala 1 : 50.000. através destas radiais vamos conseguir obter as altitudes do relevo ao redor da base da antena. Esses valores servirão de base para definir todas as características do nosso sistema. As radiais foram tracejadas a partir do ponto (coordenadas)(local da antena) e deve, obrigatoriamente, incluir a direção do norte Verdadeiro.

Após os 12 raios tracejados, calcula-se o nível médio da Radial (NMR) para cada uma delas. O NMR é definido pela média aritmética de todas as cotas da radial, que, de acordo

com a norma, devem ser compreendidas no trecho entre 3 e 15 quilômetros. Para obter esses valores das cotas, no caso os 50 valores correspondentes a alturas do terreno dentro da cada radial, existe uma ferramenta disponível no portal online da ANATEL, o SIGANATEL (citar fonte). Mas, para conseguir usar esta ferramenta, é preciso obter as coordenadas das 12 radiais, nas distâncias de 3km e 15km partindo da base da emissora.

Para buscar estes valores temos que usar como referencia os valores informados no mapa (referencias de coordenadas) e sua escala. Numa escala de 1 : 50.000 cada centímetro no mapa equivale à 500m, então, as radiais devem ter, no mínimo, 30 centímetros para atingir o ponto equivalente à 15km.

Definidos os pontos de 3km e 15km em todas as radiais, agora devemos buscar as coordenadas de cada um desses 24 pontos no mapa. Utilizando a regra de tres, podemos encontrar todas as coordenadas. Traçando uma linha horizontal e uma vertical, partindo dos pontos determinados antes, encontramos os valores de referência para as coordenadas que se busca, aplica-se a regra de três e defini-se todas as coordenadas que serão usadas na ferramenta SIGANATEL.

A tabela 4.1 mostra as coordenadas dos pontos definidos no mapa.

*** Indicar como faz para usar a ferramenta online (cadastrro, links, até chegar aos gráficos.)

Esta é uma ferramenta que apresenta um gráfico com a projeção geográfica desejada. Para usar esta recurso basta apenas inserir as coordenadas dos pontos inicial e final de cada radial (3km e 15km) e o passo, em metros, desejado para a construção da curva (12km/quantidade de passos).

O gráfico Figura 4.2 apresenta um exemplo do retorno que a aplicação nos disponibiliza. Note que usei um passo de 240 metros para cada medição, este é o valor mínimo exigido pela resolução. A partir deste gráfico, retirei os valores para descobrir o NMR de cada radial.

De posse dos resultados dos NMR's, podemos agora encontrar o nível médio do terreno (NMT), que é a média aritmética das 12 NMRs, tornando o terreno simbolicamente plano e de altura conhecida.

A tabela 4.2 apresenta os valores encontrados nas 12 radiais. Esta tabela indica as altitudes encontradas dos 50 pontos ao longo de cada radial, possibilitando obter a média para encontrar o NMR e, conseqüentemente, o NMT de 288,33m, como pode ser observado.

Os NMR's encontrados neste processo serão usados para obter todos os valores de intensidade de sinal para cada uma das radiais, como informaremos mais á frente.



Perfil de Terreno - Projeção Geográfica (lat/long) Datum WGS84

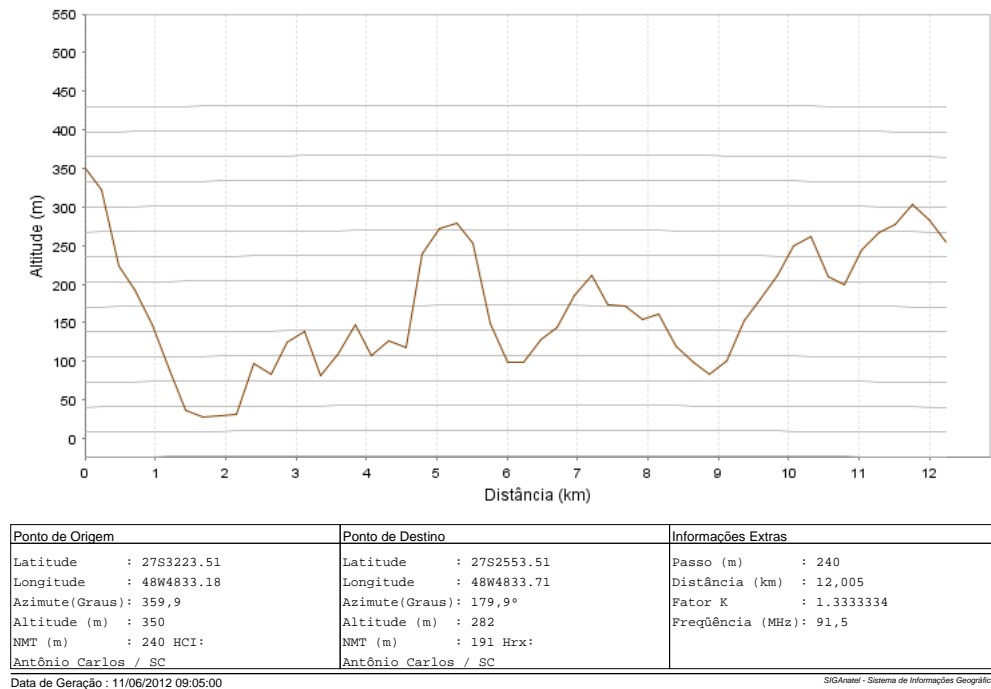


Figura 4.2: gráfico NMR usando o recurso da SIGANATEL (Radial 1)

4.2.2 Altura Acima do nível médio do Terreno

No momento que já temos definidos os níveis médios do terreno para cada uma das 12 radiais, podemos encontrar os valores de HSNMT (Altura do nível médio do terreno) também para cada radial. Estes valores serão usados para definir os valores de intensidade do campo, que formará o contorno protegido de 66dB? Os valores de HSNMT serão aplicados posteriormente nas Curvas de Intensidade de Campo, que será abordada com maiores detalhes mais à frente.

O HSNMT é definido pela expressão:

$$HSNMT = CBT + HCGSI - NMT$$

, onde:

CBT = Altura da base da torre (Altura do terreno onde será instalada a base da emissora);

$HCGSI$ = Altura da torre, somado com o Centro de Fase do Sistema Irradiante;

NMT = nível médio do Terreno.

Utilizando o SIGANATEL, informando as coordenadas tal e tal, buscamos a altura do terreno da nossa base, que resultou em 285m acima do nível do mar. Assim, já temos nosso

Radial	Latitude(3Km)	Longitude(3Km)	Latitude(15Km)	Longitude(15Km)
0°	27° 32' 23,51" S	48° 48' 33,71" O	27° 25' 53,51" S	48° 48' 33,71" O
30°	27° 32' 42,16" S	48° 47' 38,18" O	27° 27' 04,86" S	48° 44' 00,00" O
60°	27° 33' 15,40" S	48° 47' 00,00" O	27° 30' 00,00" S	48° 40' 38,18" O
90°	27° 34' 02,72" S	48° 46' 45,45" O	27° 34' 02,73" S	48° 39' 33,64" O
120°	27° 34' 52,37" S	48° 47' 00,00" O	27° 38' 05,67" S	48° 44' 00,00" O
180°	27° 35' 38,11" S	48° 48' 33,71" O	27° 42' 10,54" S	48° 48' 33,71" O
210°	27° 35' 25,46" S	48° 49' 29,09" O	27° 41' 05,67" S	48° 53' 05,45" O
240°	27° 34' 52,37" S	48° 50' 09,09" O	27° 38' 07,78" S	48° 56' 29,09" O
270°	27° 34' 02,72" S	48° 50' 25,63" O	27° 34' 02,73" S	48° 57' 40,00" O
300°	27° 33' 15,40" S	48° 50' 09,09" O	27° 30' 00,00" S	48° 56' 29,09" O
330°	27° 32' 42,16" S	48° 49' 29,09" O	27° 27' 04,86" S	48° 53' 05,45" O

Tabela 4.1: COORDENADAS INDICANDO AS REFERÊNCIAS LATITUDINAIS E LONGITUDINAIS DE CADA RADIAL.

primeiro parâmetro definido.

***(mostrar imagem do siganatel ou google maps)

$$CBT = 285m$$

Mais um fato curioso, e compreensível, é que o CBT tem um valor muito próximo do já encontrado NMT (288,33m), demonstrando que o relevo, nas redondezas, tende a manter a mesma altura da nossa base. porém, devemos tomar cuidado com este valor, pois trata-se de uma média das 12 radiais.

Se analisarmos os valores de NMR apresentados na tabela tal, notaremos que a região voltada ao Oeste (Sudoeste - Noroeste) da base emissora, apresenta níveis de altura do terreno maiores que a base, enquanto as outras regiões são todas mais baixas. Os obstáculos atrapalham na propagação do sinal, então teremos que fazer um esforço maior nos locais onde os terrenos são mais elevados que a antena, e, ao mesmo tempo, cuidar para que o contorno protegido seja respeitado.

Embora a vida útil de uma torre de estrutura metálica (a mais utilizada) e a de um transmissor, sejam ambas de cerca de 20 anos, o transmissor apresenta, além de um custo de manutenção muito superior ao da torre, alto gasto de energia elétrica, fazendo com que, normalmente, seja mais recomendável o aumento da altura da torre, em vez da potência do transmissor.

Sendo assim, sabendo que a emissora está localizada em uma área de relevo acidentado e com algumas radiais apresentando um NMR mais elevado que a base, ficará definida a altura da torre em 55 metros.

Radial 01	Radial 02	Radial 03	Radial 04	Radial 05	Radial 06	Radial 07	Radial 08	Radial 09	Radial 10	Radial 11	Radial 12	NMT
Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Altitude(m)	Alt. média (m)
3240	335	275	290	470	260	400	315	320	390	140	66	300,91
3480	290	325	340	530	245	390	320	300	400	50	40	296,25
3720	180	350	290	550	280	435	355	290	340	140	40	289,58
3960	183	360	220	540	300	425	400	340	350	150	43	291,75
4200	125	325	190	470	300	380	475	335	270	250	66	270,00
4440	30	275	220	450	330	350	430	310	210	300	66	249,25
4680	25	180	260	350	260	325	370	310	270	350	140	243,33
4920	27	200	250	355	270	250	380	340	350	345	130	249,75
5160	95	105	190	310	320	200	330	370	430	250	55	232,50
5400	80	137	220	250	400	175	280	330	355	200	57	213,67
5640	125	30	240	200	430	100	270	360	360	150	35	200,58
5880	140	75	250	250	475	75	370	420	370	110	85	227,91
6120	75	45	235	245	478	60	370	400	450	115	120	222,33
6360	150	30	190	255	440	55	375	350	440	150	150	218,75
6600	105	75	195	253	430	53	425	350	490	270	190	240,50
6840	125	43	225	285	400	51	500	375	500	300	310	262,00
7080	120	25	215	285	380	70	535	470	550	300	230	268,33
7320	238	30	230	250	320	100	540	530	570	350	130	278,16
7560	265	30	215	275	230	130	460	570	590	340	104	275,75
7800	270	150	240	270	150	125	480	635	580	260	160	279,16
8040	250	30	320	250	100	100	500	650	645	315	190	295,00
8280	150	30	315	220	80	115	450	630	580	300	215	272,08
8520	98	190	220	200	60	115	450	600	600	380	310	271,08
8760	125	170	220	170	40	120	445	500	650	410	300	271,5
9000	125	220	200	150	30	115	375	500	700	370	310	272,5
9240	145	155	205	130	25	110	340	525	740	380	405	278,33
9480	185	130	250	130	30	195	310	510	710	470	410	290,83
9720	210	100	315	170	40	150	230	560	720	500	440	302,50
9960	165	60	300	200	60	100	210	550	765	450	480	294,58
10200	165	50	340	250	50	130	230	470	750	460	530	306,25
10440	150	70	300	220	25	150	280	480	700	530	580	306,25
10680	160	60	200	160	25	100	250	520	600	590	680	292,08
10920	115	100	60	210	50	130	250	500	625	730	680	294,16
11160	140	50	25	240	160	100	280	500	650	840	690	310,427
11400	30	40	23	300	140	105	310	520	675	830	730	311,91
11640	125	30	20	340	150	150	350	540	700	750	830	334,58
11880	125	20	23	380	150	105	310	560	695	730	840	334,83
12120	270	50	23	410	100	40	390	580	700	730	810	344,00
12360	100	60	20	350	90	50	370	600	625	600	800	310,42
12600	185	35	17	300	110	70	390	610	570	510	750	307,25
12840	150	30	200	200	180	100	430	680	575	515	800	300,00
13080	80	60	23	180	170	150	470	665	650	550	780	344,00
13320	75	80	25	175	150	170	450	750	720	500	720	348,75
13560	98	35	23	130	130	150	480	740	770	410	730	338,42
13800	150	25	20	70	125	130	520	670	770	480	710	319,16
14040	200	20	20	35	200	135	540	600	790	500	650	325,00
14280	240	15	17	35	220	120	590	600	750	550	690	335,58
14520	270	15	220	30	330	100	550	580	730	600	650	330,16
14760	300	15	19	35	180	70	520	570	760	605	675	324,92
15000	280	15	25	10	100	55	490	580	800	500	690	306,25
Soma	7919	8457	8310	12523	9843	7579	19740	25105	28980	20605	20266	14416,66
NMT(m)	158,38	169,14	166,2	250,46	196,86	151,58	394,8	502,1	579,6	412,1	405,32	288,33

Tabela 4.2: Mapeamento das altitudes de cada radial.

Para definir a *HCGSI*, precisamos ainda obter o valor da altura do Centro de Fase do Sistema Irradiante. Este valor é encontrado nas especificações da antena Dipolo 1/2 Onda para FM do fabricante IDEAL, conforme ANEXO A, que será usada no projeto e varia conforme o número de elementos usados na estrutura do sistema irradiante. De acordo com a especificação da antena, usando três elementos para irradiar o sinal e usando como referência os dados referentes à sistemas com frequência de 88,1MHz, que é a frequência mais aproximado da que será propagada o sinal da nossa emissora (91,5MHz), o centro de fase do sistema fica em 4244,5mm, ou 4,244m. Efetuando-se a soma entre a altura da torre e a altura do Centro de Fase do Sistema Irradiante, teremos o seguinte valor:

$$HCGSI = 55m + 4,244m = 59,244m$$

Agora já temos definidas todas as variáveis que compõem nossa equação, vamos encontrar o *HSNMT*, ficou assim:

$$HSNMT = 285m + 59,244m - 288,33m$$

, encontramos o resultado aproximado de :

$$HSNMT = 55,914m$$

Na verdade, este valor de *HSNMT* encontrado vai servir somente de referência. através dele, podemos comprovar que a antena estará numa altura dentro do limite estabelecido pela resolução (60 metros), considerando a média de todas as radiais (*NMT*).

Agora, esta equação deve ser usada trocando o *NMT* por *NMR* e, assim, encontrar o *HSNMT* de cada radial, isoladamente.

A tabela 4.3 apresenta os valores de *HSNMT* obtidos. Essa coluna apresenta a diferença entre a altura da antena e o *NMR* da radial correspondente.

Os resultados negativados informam que, na direção das radiais correspondentes à estes valores, o nível do terreno é mais alto que a altura da antena (344,24m). então podemos concluir que, o sinal irradiado para estas direções encontraria obstáculos que iriam interferir na sua propagação. Essa informação é muito importante para a otimização da área de cobertura da emissora, e será lembrada mais adiante.

Radial	NMR	HSNMT
0°	158,38	185,86
30°	73,46	270,78
60°	169,14	175,10
90°	166,20	178,04
120°	250,46	93,78
150°	196,86	147,38
180°	151,58	192,66
210°	394,80	-50,55
240°	502,10	-157,85
270°	579,60	-235,35
300°	412,10	-67,85
330°	405,32	-61,07

Tabela 4.3: Valores de HSNMT para cada radial.

4.3 CONTORNO PROTEGIDO

Como mencionado anteriormente, o contorno protegido de uma estação de rádio FM corresponde ao lugar geométrico onde a intensidade de campo do sinal apresentar o valor de $66dBm$ ($2mV/m$)(Contorno 2). Este contorno tem como finalidade atender a área de serviço urbana. Uma vez que a cobertura desta área estiver atendendo os padrões da resolução, as demais áreas de serviços, a área de serviço primária (Contorno 1), limitada pelo contorno de $74dBm$ ($5mV/m$) e a área de serviço rural (Contorno 3), compreendida entre o contorno 2 e o contorno de $54dBm$ ($0,5mV/m$), também estará de acordo com a norma.

O que vai determinar toda a extensão deste contorno será a escolha dos equipamentos e especificações usados no Sistema Irradiante, que devem ser definidos da maneira que melhor atenda a geografia da localidade, e que também respeite todas as regularidades expostas na resolução determinada pela ANATEL, para a classe do canal proposto.

5 *DEFINIÇÕES DO SISTEMA IRRADIANTE*

Agora que já conhecemos geograficamente a localidade onde será fixada a nossa emissora, e também já temos definidos os outros aspectos técnicos primários necessários, vamos para a construção do conjunto de equipamentos que formará o sistema irradiante, além de realizar os cálculos necessários para deixar a emissora enquadrada conforme a resolução.

5.1 SISTEMA IRRADIANTE

Um sistema irradiante é composto basicamente de uma antena, um guia de onda, e um transmissor. Cada um dos componentes apresenta características próprias, variando de fabricante. No levantamento das informações são apresentadas as características que influenciam diretamente nos cálculos.

A seguir serão apresentados as características do sistema irradiante, bem como os critérios usados para a utilização de cada um dos equipamentos.

5.1.1 Antena

A antena utilizada neste projeto é uma Dipolo 1/2 onda e de polarização vertical. O diagrama de irradiação desta antena é útil para o relevo acidentado da região de São Pedro de Alcântara. Como podemos ver na Figura 5.1, o diagrama apresenta um antena com uma irradiação levemente direcionada.

O Anexo A contém o documento do fabricante na íntegra.

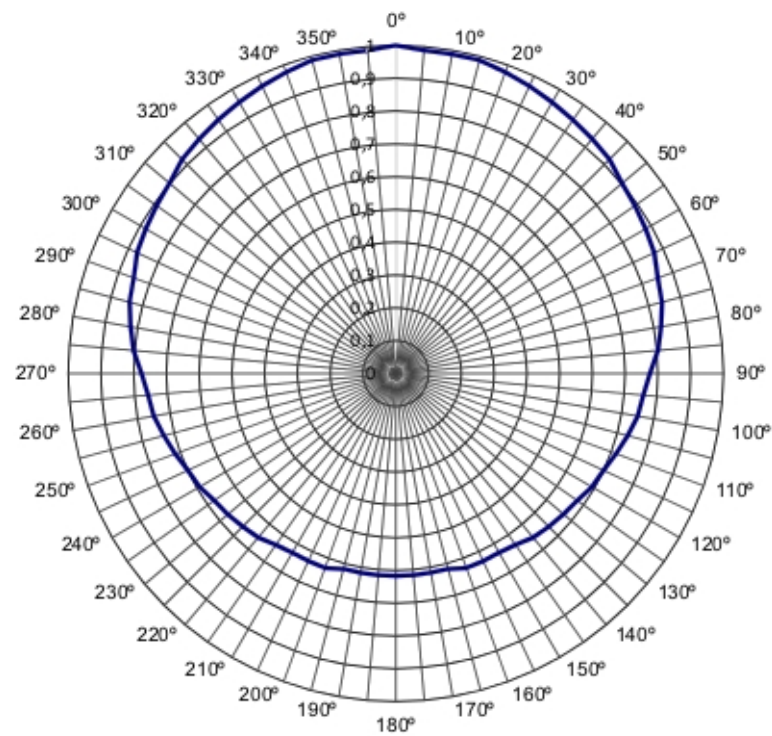


Figura 5.1: Diagrama de Irradiação da Antena Dipolo 1/2 Onda para FM

5.1.2 Guia de onda e conectores

Conforme a potência máxima irradiada e a antena escolhida, para o guia de onda deve ser usado o padrão EIA 1-5/8". Optou-se pelo 1-5/8"CELLFLEX® Lite Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable, da fabricante RFS, que apresenta uma atenuação de apenas $0.663\text{dB}/100\text{m}$, operando numa frequência de 88MHz ; conforme especificações em ANEXO B. Como a frequência do canal que está sendo projetado é de $91,5\text{MHz}$, adotaremos o valor de $0.680\text{dB}/100\text{m}$.

Como já definido, a estrutura da torre onde será alocada a antena tem uma altura de 55m . Sendo assim, o comprimento do guia de onda será de 65m , visando que ele será conectado ao transmissor, que deverá estar abrigado dentro de uma estrutura adequada (já construída no local). Portanto, a atenuação introduzida pelo cabo será de $0,442\text{dB}$.

5.1.3 Transmissor

A única característica de um transmissor levada em consideração nos cálculos é a sua potência de saída. Essa potência é informada nas especificações técnicas, e dada geralmente em Wrms .

Baseando-se em pesquisas nos sites de fabricantes de transmissores nacionais, foi encon-

trado transmissores com potências nominais de 25, 100, 150 e 300 Wrms. Visando atender a resolução, que limita a potência da emissora de rádio em 300Wrms para a classe C, usaremos nos cálculos um transmissor de 150Wrms, que , combinado com o ganho da antena e com a eficiência da linha de transmissão, terá que resultar numa potência $P(erp) \leq 300Wrms$.

5.1.4 Cálculos de ERPmax, ERPaz e a orientação da antena

A seguir serão mostrados os ajustes e cálculos necessários para obter o resultado mais eficiente e dentro da norma.

Potência efetiva irradiada máxima (ERPmax)

A fórmula para obter a ERP_{max} , a partir do equipamentos escolhidos, é a seguinte:

$$ERP_{max} = P_t \times G_{tmax} \times E_f$$

A variável P_t representa a potência de saída do transmissor em Wrms, G_{tmax} o ganho máximo da antena representado em vezes, e E_f a eficiência da linha de transmissão.

Através das especificações do fabricante podem ser obtidos a potência de saída do transmissor e o ganho máximo da antena. Caso o G_{tmax} esteja somente representado em dBd é usado a seguinte fórmula para a conversão:

$$G_{tmax} = 10^{0,1 \times G_{tmax}(dBd)}$$

A eficiência da linha de transmissão é determinada através das perdas do sistema. Para calcular as perdas na linha usa-se a seguinte fórmula:

$$Pl = \frac{L \times Al}{100}$$

O parâmetro L informa o comprimento do guia de onda em metros, Al representa a atenuação do guia a cada 100m de comprimento, em dB/100m. É usual considerar o valor de 2dB como perda com acessórios (P_c), provenientes de conectores e divisores de linha, que deve ser somado ao valor Pl , resultando então na perda total da linha (P_d), em dB:

$$P_d = Pl + P_c$$

Converte-se então as perdas totais em vezes (P_v):

$$P_v = 10^{0,1 \times P_d}$$

Por fim, para definir o parâmetro que falta para encontrar o ERP_{max} , inverte-se o último resultado, obtendo a eficiência da linha:

$$Ef = 1/P_v$$

Potência efetiva irradiada por azimuth (ERP_{az})

A ERP_{max} representa a potência máxima, mas, conforme o diagrama de irradiação da antena, na prática essa potência será irradiada somente em uma direção. Então, a ERP_{az} é usada e necessária para encontrar os valores de potência em cada radial. Com eses valores definidos poderemos encontrar as distâncias e traçar os contornos do nosso sistema.

A ERP_{az} é simplesmente a parcela do ERP_{max} irradiada em um azimuth determinado, e pode ser calculado com a fórmula:

$$ERP_{az} = ERP_{max} \times (E/E_{max})^2$$

Onde E/E_{max} representa a porcentagem da potência máxima que é irradiada no azimuth correspondente. Este pode ser buscado diretamente das especificações técnicas do fabricante.

Orientação da antena

Como pode ser visto na tabela 4.3, existem valores de $HSNMT$ negativos. Em locais onde o terreno é acidentado, o sinal transmitido apresentará mais dificuldades em propagar-se nas direções onde o terreno é mais alto que a antena, atenuando-o conforme vai se distanciando da origem.

Na região onde está sendo projetado a emissora, o azimuth 270° é a direção onde o NMR é o mais alto e, conseqüentemente, o HSMNT mais negativado. Gradativamente, a altura terrena nesta região vai baixando junto com as outras direções das radiais. Afim de amenizar a atenuação do sinal neste cenário, a antena será direcionada para o oeste, ou seja, o azimuth 0° da antena, que conforme a especificação irradia o ERP_{max} para esta direção, ficará apontado para o azimuth 270° da base. Com esta atitude, o sinal está sendo irradiado com a maior potência

possível para estas regiões.

6 *DESENVOLVENDO A EMISSORA FM*

Agora que já conhecemos detalhadamente o local em que vamos trabalhar, os equipamentos que vão compor a emissora, e também quais caminhos devemos seguir para desenvolver o projeto, tem-se o início do desenvolvimento.

6.1 ESPECIFICAÇÕES DEFINIDAS

Ao decorrer desta leitura, já foram mostrados alguns levantamentos que apresentam seus valores definitivos. Vimos a tabela 4.3, que apresenta o mapeamento geográfico da localidade com os valores de NMR e HSNMT, e agora temos a tabela 6.1, que agrupa as especificações técnicas já definidas até este momento.

Os próximos passos serão destinados à mostrar os valores que comprovarão que esta configuração do sistema está respeitando todos os requisitos máximos, principalmente o contorno protegido de 66dBm.

Canal	218
Frequência	91,5
Classe	C
Altura do centro geométrico do sistema irradiante (HSNMT)	55,914 metros
Orientação do Norte Verdadeiro	90° no diagrama de irradiação
Cota da base da torre	285 metros
Comprimento da linha de transmissão	65 metros
Altura da antena	55 metros
Atenuação do guia de onda e conectores	0,442dB (para 65 metros)
Ganho da antena	4,77dBd (para 3 elementos)
Potência do transmissor	0,150kW

Tabela 6.1: Resumo das especificações técnicas da emissora

6.2 DEFININDO O CONTORNO PROTEGIDO

Definir a distância do contorno protegido de 66dBm é o principal objetivo deste estudo. Esta distância é a média aritmética das distâncias a este contorno, segundo cada radial, e é o que irá identificar a classe desta emissora. Para a classe C, o contorno 2 (66dBm) não deve ultrapassar 7,5km o resultado da média das 12 radiais.

6.2.1 Potências ERPmax e ERPaz

O limite máximo da potência que o nosso sistema pode usar para irradiar o sinal está fixado em 0,300kW. Já temos todos os fatores necessários para saber o valor de ERPmax da emissora, vamos aos cálculos, começando pela perda da linha:

$$Pl = \frac{65 \times 0,680}{100}$$

$$Pl = 0,442dB$$

Soma-se este resultado à atenuação dos conectores:

$$Pd = 0,442 + 2$$

$$Pd = 2,442dB$$

Convertendo para perdas totais em vezes (P_v):

$$P_v = 10^{0,1 \times 2,442}$$

$$P_v = 1,754$$

Inverte-se este resultado para obter a Eficiência da linha:

$$Ef = 1/1,754$$

$$Ef = 0,569$$

Portanto, a potência de saída do sistema fica:

$$ERP_{max} = 0,15 \times 3 \times 0,569$$

$$ERP_{max} = 0,256kW$$

Este resultado atende o estabelecido pela resolução, é menor que 300W, então podemos começar à calcular o ERPaz para cada um dos azimutes traçados.

Como já mencionado anteriormente, a antena ficou posicionada apontando o seu 90° em direção ao norte verdadeiro, assim ficando de frente para o azimute 270° da emissora.

Considerando a posição da antena e os valores de E/E_{max} (disponível na especificação da antena - ANEXO A), segue o cálculo para o azimute 0°:

$$ERP_{az}(0^\circ) = 0,256kW \times (0,78)^2$$

$$ERP_{az}(0^\circ) = 0,256kW \times 0,6084$$

$$ERP_{az}(0^\circ) = 0,1557kW$$

Convertendo para dBk ($10 \times \log$):

$$ERP_{az}(0^\circ) = -8,07dBk$$

Repete-se este procedimento para todos os outros 11 angulos. Segue tabela completa 6.2, com os valores de E/E_{max} e ERP_{az} :

6.2.2 Contorno de 66dbm (área de serviço urbana)

Agora que já temos o potencial de irradiação de cada uma das radios do sistema, a próxima etapa é identificar cada uma das distâncias que formarão os contornos. As curvas de intensidade de campo $E(50,50)$ serão usadas para esta finalidade. Através destas curvas obtemos as relações entre potência e relevo, necessárias para determinar as distâncias dos contornos das áreas de serviços. Tais curvas baseiam-se em uma potencia efetiva de 1KW irradiado por um dipolo

Radial	E/Emax	ERPaz(kW)	ERPaz(dBk)
0°	0,78	0,1560	-8,07
30°	0,69	0,1220	-9,13
60°	0,63	0,1017	-9,92
90°	0,62	0,0985	-10,06
120°	0,63	0,1017	-9,92
150°	0,69	0,1220	-9,13
180°	0,78	0,1560	-8,07
210°	0,88	0,1985	-7,02
240°	0,95	0,2314	-6,35
270°	1,00	0,2564	-5,91
300°	0,95	0,2314	-6,35
330°	0,88	0,1985	-7,02

Tabela 6.2: Valores de ERPaz para cada radial.

de 1/2 onda, em espaço livre, que produz uma intensidade de campo não atenuada, a 1km, de aproximadamente 107dBu.

Para identificar se a emissora está respeitando o contorno de 7,5km, vamos primeiramente buscar os valores para o formar o contorno de 66dBm.

Como as potências efetivas irradiadas, que encontramos anteriormente, são inferiores à 1KW, deve ser feito um ajuste, subtraindo estes valores em dBk do valor para o contorno desejado. O resultado será o valor referência do eixo das ordenadas.

O ponto de intersecção será o valor de HSMNT correspondente à radial desta potência, que deverá ser encontrado entre as escalas apresentadas nas curvas de intensidade.

Definido o ponto, busca-se o valor, em km, que está em escala logarítmica no eixo das abscissas. A figura 6.1 mostra um exemplo deste procedimento para os valores referentes à radial 0°. À esquerda está destacado o valor resultante da subtração de $66dBm - 8,07dBk = 74,07dBm$ e , através do valor de HSMNT de 185,86m na radial 0°, utilizando a curva correspondente obtem-se o valor de 10,5km.

Agora sabemos que à 10,5km da base da emissora, em direção ao norte verdadeiro, a intensidade do sinal apresenta uma potência de 66dbm. Nota-se que esta distância ultrapassa o valor de limite de 7,5km, porém, devido à irregularidade do terreno, é permitido que algumas distancias ultrapassem o limite máximo, desde que a média geral ultrapasse. Para que esta exclusividade seja permitida, a potência ERPmax e altura da antena não podem estar excedendo os limites máximos.

Executando este procedimento em todas as 12 radiais, obteve-se os resultados apresentados

na tabela 6.3.

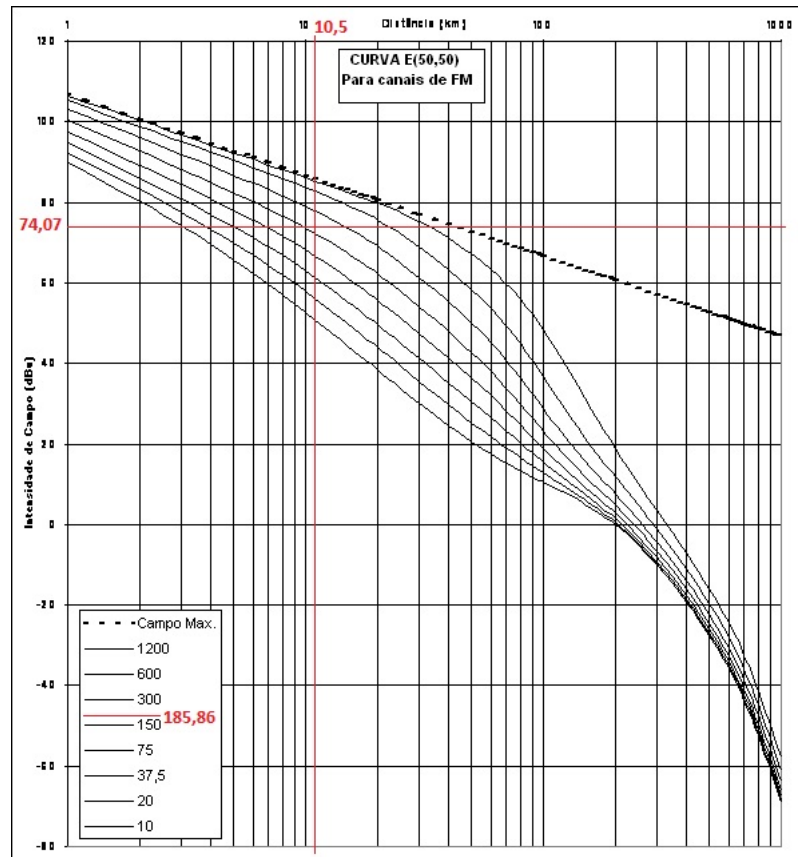


Figura 6.1: Utilizando as curvas E(50,50) para encontrar as distâncias do contorno protegido.

Conforme a determinação publicada na RESOLUÇÃO N° 546, DE 1° DE SETEMBRO DE 2010, que Altera o Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em frequência Modulada, segue os cálculos:

Para determinar a intensidade de campo de uma emissora a uma dada distância, utilizam-se as Tabelas 6.2 e 6.3 da seguinte forma:

a) selecionar a coluna correspondente à altura do centro geométrico da antena h_1 sobre o NMR da Radial 0;

$$h_1 = h_{bt} - NMT + h_a$$

h_1 é a altura da antena transmissora em m;

h_{bt} é a altura do terreno da antena em relação ao nível do mar em m;

NMT é o nível médio do terreno em m;

h_a é a altura da antena acima do solo em m.

Radial	ERPaz(dBk)	HSMNT (m)	66dBm	Contorno 2 (km)
0°	-8,07	185,86	74,07	10,5
30°	-9,13	270,78	75,13	11
60°	-9,92	175,10	75,92,	9
90°	-10,06	178,04	76,06	9
120°	-9,92	96,78	75,92	7
150°	-9,13	147,38	75,13	9
180°	-8,07	192,66	74,07	11
210°	-7,02	-50,55	73,02	3,2
240°	-6,35	-157,85	72,35	3,4
270°	-5,91	-235,35	71,91	3,6
300°	-6,35	-67,85	72,35	3,4
330°	-7,02	-61,07	73,02	3,2

Tabela 6.3: Distancias do contorno protegido (66dBm).

$$h1 = 285\text{m} - 158,38 + 20\text{m}$$

$$h1 = 146,62\text{m}$$

b) seleccionar a linha correspondente á distância de interesse;

A tabela 6.2 não mostra com precisão o valor de intensidade de campo. Para os valores de $h1$ que não estiverem muito bem próximos a uma curva definida na Tabela, deve-se usar a seguinte fórmula 2 (*marcar fórmulas) para encontrar os valores de E para cada Radial:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(h1/h_{inf}) / \log(h_{sup}/h_{inf}) - > dB(\mu V/m)$$

Onde:

E é o valor de intensidade de campo em $dB(\mu V/m)$, em função de $h1$, para a distância d desejada;

E_{inf} é o valor de intensidade de campo em $dB(\mu V/m)$ para uma altura h_{inf} , extraída das curvas;

E_{sup} é o valor de intensidade de campo em $dB(\mu V/m)$, para uma altura h_{sup} extraída das curvas;

h_{inf} é a altura nominal da antena em m , com valor imediatamente inferior a $h1$;

h_{sup} é a altura nominal da antena em m , com valor imediatamente superior $h1$.

Apresentarei o cálculo utilizando a fórmula para encontrar o valor de intensidade do campo, para a Radial 0:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(h_1/h_{inf}) / \log(h_{sup}/h_{inf}) - > dB(uV/m)$$

$$E = 72dB? + (77dB? - 72dB?) \log(146,62m/75m) / \log(150m/75m)$$

$$E = 72dB? + (5dB?) \log(1,955) / \log(2)$$

$$E = 72dB? + (5dB?) + 2,9dB? - 3dB?$$

$$E = 72dB? + (5dB?) + 2,9dB? - 3dB?$$

$$E = 76,9dB?$$

c) a intersecção de a) com b), contém o valor da intensidade de campo na distância desejada, em $dB?$, para uma ERP de $1kW$;

Neste caso, como foi usada a fórmula 2, esta etapa já foi concluída no item b).

d) adiciona-se ao valor (em $dB?$) obtido, o valor da ERP na direção de interesse (em dBk); este resultado é o valor da intensidade de campo, em $dB?$, no ponto considerado.

Minha ERP calculada ficou:

Após verificar várias maneiras de aumentar a potência do transmissor, de maneira que não desrespeite o contorno protegido de $66dB?$, segue as definições para a potência do transmissor:

- Utilizando 4 antenas dipolo na torre de transmissão, podemos usar um transmissor de $150W$ ($0,150 KW$). Isso foi possível pois as antenas são conectadas em série, distribuindo em partes iguais a potência para cada uma delas ($37,5 W$ para cada dipolo da torre), ou seja, $14,25dBk$.

- está definido que a antena (colocar o nome técnico da antena) proporciona um ganho de $1,5dB$ para o sistema.

- Eficiência da linha, basicamente atenua a transmissão em $-2dB$ de acordo com os seguintes cálculos:

$$Pl = (L \times Al) / 100$$

, onde:

L = comp. do guia de onda em metros = $c/f = 300000/91500 = 3,278m$ (c = vel.luz f = frequência transmissão)

Al = Informa a atenuação do guia a cada 100 metros de comp. Em $dB = 1,13dB$ p/ o cabo LCF78 - 50JA - A8. (cabo homologado)

Então $Pl = (3,278 \times 1,13) / 100 = 0.037dB$, então temos a perda total somando $0.037dB$ com $2dB$ das perdas dos conectores média estabelecida ($2,037db$).

- Logo, o intensidade do sinal irradiado, Radial 0, para o contorno 2 será definida por:

$$ERP = -14,25dBk + 1,5dB - 2,037dB$$

$$ERP = -14,78dBk \text{ (valor de ERP base)}$$

1. - Para a Radial 0, de acordo com a antena usada, o valor de (E/E_{max}) fica em 1,00, então o valor de ERP não sofre alterações para esta direção.

Para definir o valor do contorno para a Radial 0, temos que somar a intensidade do campo ($E = 76,9dB?$) com o valor de ERP ($ERP = -14,78dBk$), que totaliza :

1.

$$ContornoR0 = 76,9dB? + (-14,78dBk) = 62,11dB?$$

, é 7,5 Km da base.

Assim, esta radial está respeitando a norma que exige, conforme a tabela, que para a classe C, a distância máxima ao contorno protegido é de 7,5km com a potencia irradiada de 66dBm, no máximo, para esta distância.

Porém, devemos ter uma atenção especial para a radial que apresente a NMR mais baixo em relação a base da antena. No nosso caso, a radial que apresenta este valor é a Radial 1 com o valor de NMR = 73,46 m. então vamos repetir os cálculos para esta radial e verificar os resultados.

a) selecionar a coluna correspondente é altura do centro geométrico da antena $h1$ sobre o NMR da Radial 1;

$$h1 = hbt - NMT + ha$$

$$h1 = 285\text{m} - 73,46 + 20\text{m}$$

$$h1 = 231,54$$

b) seleccionar a linha correspondente é distância de interesse;

Aplicando a fórmula 2 para encontrar o valor:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(h1/h_{inf}) / \log(h_{sup}/h_{inf}) - > dB(uV/m)$$

$$E = 77dB? + (82dB? - 77dB?) \log(231,54/150) / \log(300/150)$$

$$E = 77dB? + (5dB?) \log(1,5436) / \log(2)$$

$$E = 77dB? + 5dB? + 1,88dB - 3dB$$

$$E = 80,88dB?$$

c) a intersecção de a) com b), contém o valor da intensidade de campo na distância desejada, em dB?, para uma ERP de 1kW;

Temos que pular essa etapa pois já temos o valor encontrado pelo cálculo (80,88dB?).

d) adiciona-se ao valor (em dB?) obtido, o valor da ERP na direção de interesse (em dBk); este resultado é o valor da intensidade de campo, em dB?, no ponto considerado.

ERP já encontrado anteriormente é $-14,78dBk$, mas ainda temos que multiplicar com o valor de (E/E_{max}) (valor é informado na tabela do sistema irradiante).

$$\text{Valor para Radial 1} = (E/E_{max}) = 0,9025$$

Para multiplicar, temos que converter para potencia(W):

$$ERP(W) = 10^x, \text{ onde } x = ERP(dBk)/10$$

$$ERP(W) = 33,26W$$

Multiplicando fica:

$$ERP_{radial1}(W) = 33,26(0,9025); ERP_{radial1}(W) = 30,01W, \text{ em dBk fica:}$$

$$ERPradial1(dBk) = -15,22dBk.$$

Logo, o intensidade do sinal na distância final é:

$$ContornoR1 = 80,88dB + (-15,22dBk) = 65,66dB$$

, para a Radial 1

De acordo com a norma, o contorno protegido deve apresentar, no seu limite máximo, a potencia máxima de 66dB, o resultado mostra que estamos logo abaixo deste valor. Como esta é a Radial em que o sinal consegue se propagar mais livremente, devido ao NMR ser o mais baixo da lista, consequentemente também será o que terá o sinal mais forte, entre as radiais, no limite do contorno protegido.

6.3 Texto Matemático

Utilize \$ para inciar e finalizar o modo matemático¹ dentro de um texto não matemático e \$\$ para inciar e finalizar o modo matemático centralizado (fórmulas). Exemplo dentro de um texto não matemático: Sejam a e b dois números reais não nulos, logo $a^{b+a} = a^b a^a$. Agora segue um exemplo de modo matemático centralizado:

$$\int_a^b f(x)dx = 56.$$

Abaixo temos um exemplo de proposições com sua demonstração:

Proposição 6.1. Sejam a e b reais, tais que $0 < a < b$. então $a^2 < b^2$.

Demonstração. Pela hipótese concluímos que $(b+a) > 0$ e $(b-a) > 0$.

Como $b^2 - a^2 = (b+a)(b-a)$ concluímos que $b^2 - a^2 > 0$, ou seja, $a^2 < b^2$. □

¹nota de rodapé

Radiais Azimutes (Graus)	NMT (m)	HSMNT (m)	(E/Emax)	Potência Proposta Perp(KW)	Potência Proposta Perp(dBk)	Contorno 1		Contorno 2		Contorno 3	
						74 dB?	C1 (Km)	66 dB?	C2 (Km)	54 dB?	C3 (Km)
0	158,38	189,19	0,6084	0,1482	-8,29	82,29	5,5	74,29	10,3	62,29	21
30	73,46	274,11	0,4761	0,1159	-9,35	83,35	6,2	75,35	12,5	63,35	24
60	169,14	178,46	0,3969	0,0966	-10,14	84,14	5	76,14	10	64,14	18
90	166,2	181,37	0,3844	0,0936	-10,28	84,28	5	76,28	9	64,28	18,5
120	250,46	97,57	0,3969	0,0966	-10,14	84,14	3,6	76,14	8	64,14	12
150	196,86	150,71	0,4761	0,1159	-9,35	83,35	5	75,35	10	63,35	17
180	151,58	195,99	0,6084	0,1482	-8,29	82,29	5,8	74,29	11	62,29	21
210	394,8	-47,23	0,7744	0,1886	-7,24	81,24	1,8	73,24	3,2	61,24	6,8
240	502,1	-154,53	0,9025	0,2198	-6,57	80,57	1,9	72,57	3,4	60,57	6,9
270	579,1	-231,53	1,00	0,2436	-6,13	80,13	2	72,13	3,5	60,13	7
300	412,1	-64,53	0,9025	0,2198	-6,57	80,57	1,9	72,57	3,4	60,57	6,9
330	405,32	-57,75	0,7744	0,1886	-7,24	81,24	1,8	73,24	3,2	61,24	6,8
Valores médios	288,29										

Tabela 6.4: Contorno das diversas áreas de serviço segundo cada radial.

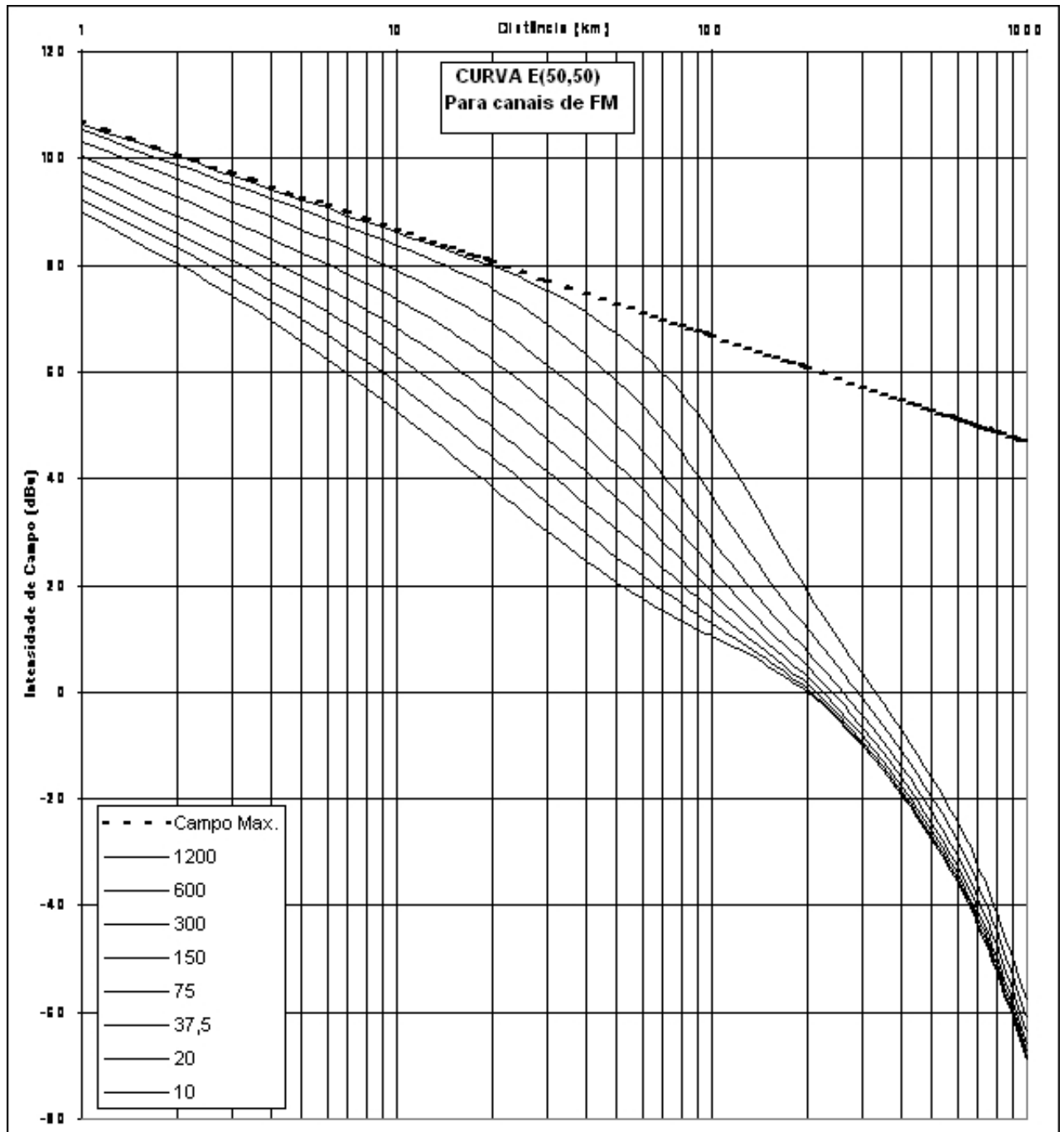


Figura 6.2: Curvas E(50,50)

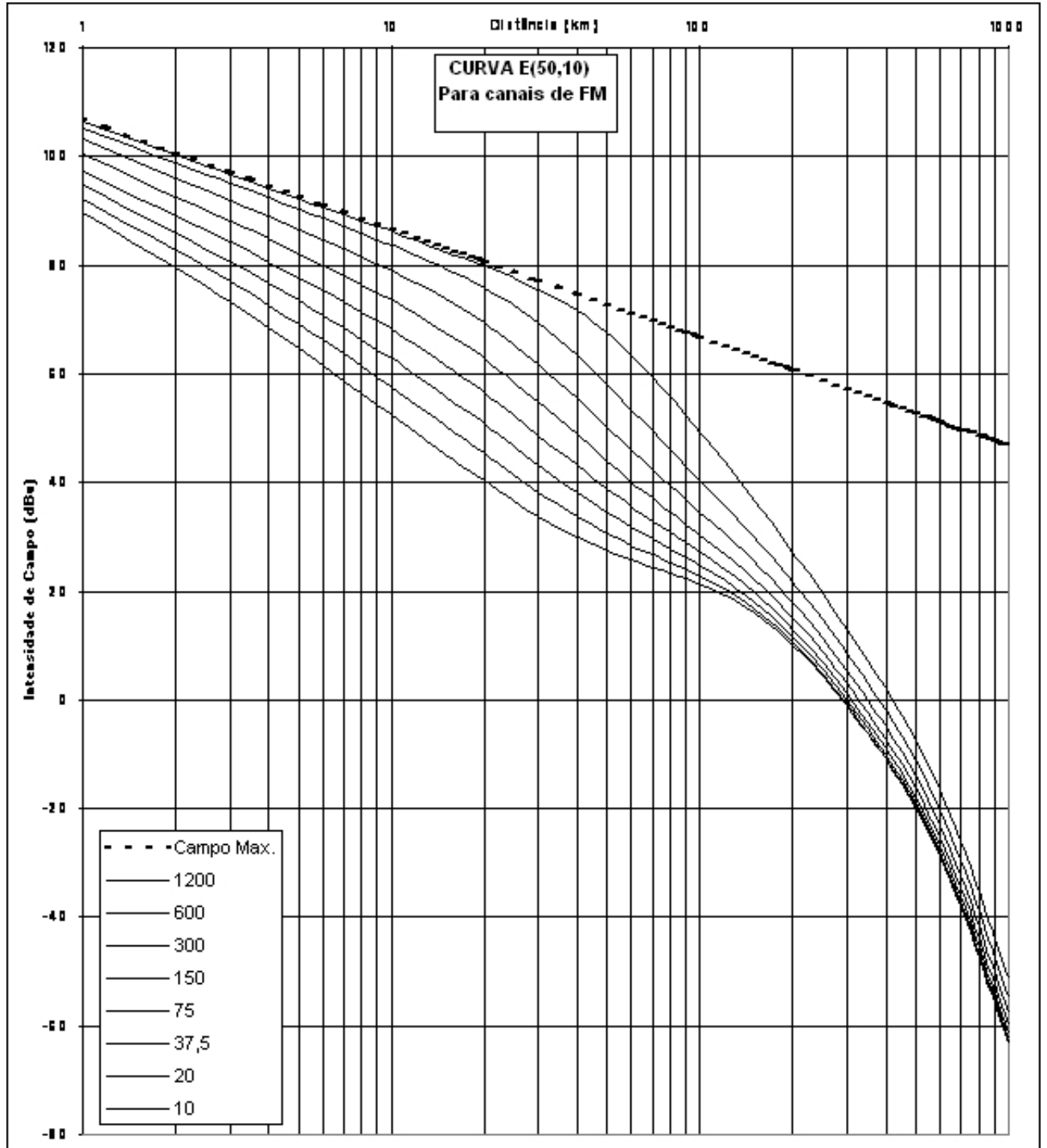


Figura 6.3: Curvas E(50,10)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Digitar as conclusões do trabalho.

Referências

AUTOR, N. *Título*: Subtítulo, que vem depois de dois pontos. São Paulo: Editora, 1995.

AUTOR, N. Título do artigo. *A Folha de S. Paulo*, São Paulo, p. 11–23, 7 set. 1995.

CONCEITOS criados como exemplo. 2003. Disponível em: <<http://nomedodominio.com.br>>. Acesso em: 8 mar. 1999.

EVANS, X. Y. Z. et al. *Exemplo de citação no texto*. [S.l.: s.n.], 1987.

NOME do artigo. *A Folha de S. Paulo*, São Paulo, p. 4, 2 abr. 1995.

NOME, O. *Algum nome*. [S.l.: s.n.], 1978. 101-114 p.

SILVA, X. Y. *Título de exemplo*. [S.l.], 2003. Disponível em: <<http://nomedodominio.com.br>>. Acesso em: 8 mar. 1999.

TÍTULO do Artigo. *Nome da revista*, Rio de Janeiro, n. 35, p. 51–60, jan. 1987.

***ANEXO A – Especificações técnicas do fabricante da
antena dipolo utilizada***

IDEAL

Antenas Profissionais



Dipolo 1/2 Onda para FM

Antena para transmissão de FM, com polarização Vertical. Podendo ser confeccionada em linha EIA 1 5/8" ou EIA 3 1/8".

Ideal para transmissão em média e alta potência. Podendo ser instalada em lateral de torre ou tubulão em topo de torre.

Antena de fácil instalação e baixa carga de vento.

Pode ser utilizado diagrama de elevação com tilt elétrico e/ou preenchimento de nulo. Possui confecção com alimentação inferior ou central.

É produzida, sendo sua estrutura externa em latão e suas conexões internas em cobre e latão banhados a prata. Possui tratamento anticorrosivo com epoxi em coloração branca. Com possibilidade de pressurização plena ou até a entrada da antena.

Sistemas com configurações diferentes as apresentadas, entrar em contato.

Nº de Elementos	Ganho dBd	Veze	Potência Máxima de Entrada (KW)	Conexão	Âng. 1/2 Pot. Vertical
1	0	1	5	EIA 1 5/8"	84°
2	3	2	10	EIA 1 5/8"	27°
3	4,77	3	15	EIA 3 1/8"	18°
4	6	4	20	EIA 3 1/8"	13°
6	7,76	6	30	EIA 3 1/8"	8,5°
8	9,03	8	40	EIA 4 1/16"	6,5°

* Dipolos confeccionados em 1 5/8"

Nº de Elementos	Ganho dBd	Veze	Potência Máxima de Entrada (KW)	Conexão	Âng. 1/2 Pot. Vertical
1	0	1	10	EIA 3 1/8"	84°
2	3	2	20	EIA 3 1/8"	27°
3	4,77	3	30	EIA 3 1/8"	18°
4	6	4	40	EIA 4 1/16"	13°
6	7,76	6	40	EIA 4 1/16"	8,5°
8	9,03	8	40	EIA 4 1/16"	6,5°

* Dipolos confeccionados em 3 1/8"

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

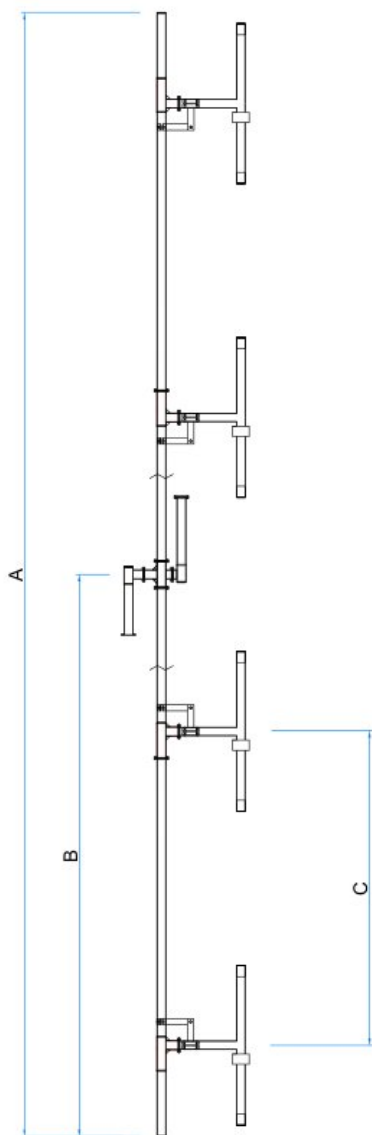
Faixa de Frequência	87,5 a 108,1 Mhz
Largura de Banda	500 KHz
Polarização	Vertical
Impedância	50 ohms
Ganho	Vide tabela
Máxima potência por elemento	5000 Watts (EIA 1 5/8") 10000 Watts (EIA 3 1/8")
Ângulo de 1/2 pot. vertical	Vide tabela
VSWR	<1.05:1
Dimensões (Altura x Diâmetro)	Vide tabela
Área exposta	Vide tabela
Carga ao Vento	Vide tabela
Peso	Vide tabela
Conexão de entrada do sistema	EIA 1 5/8", EIA 3 1/8", EIA 4 1/16"
Resistência a ventos	180 Km/h
Proteção elétrica	Por intermédio da estrutura da antena

MODELO



Dipolo de ½ Onda para FM

IDEAL
Antenas Profissionais



Características Mecânicas *						
Números de Elementos	A	B	C	Área Exposta	Carga ao Vento	Peso
1	1815	907,5	3337	0,13	13	10
2	5152	2576		0,61	61	39
3	8489	4244,5		0,89	89	61
4	11826	5913		1,15	115	74
6	18500	9250		1,71	171	113
8	25155	12577		2,27	227	145

* Dados referentes a sistemas com frequência de 88.1 Mhz em Linha 1 5/8"

Características Mecânicas *						
Números de Elementos	A	B	C	Área Exposta	Carga ao Vento	Peso
1	1630	815	3000	0,12	12	8,4
2	4630	2315		0,56	56	37
3	7630	3815		0,82	82	58
4	10630	5315		1,06	106	70
6	16630	8315		1,57	157	107
8	22623	11312		2,09	209	136

* Dados referentes a sistemas com frequência de 98.1 Mhz em Linha 1 5/8"

Características Mecânicas *						
Números de Elementos	A	B	C	Área Exposta	Carga ao Vento	Peso
1	1480	740	2720	0,11	11	7,9
2	4200	2100		0,51	51	35
3	6920	3460		0,75	75	55
4	9640	4820		0,97	97	67
6	15080	7540		1,43	143	102
8	20520	10260		1,91	191	131

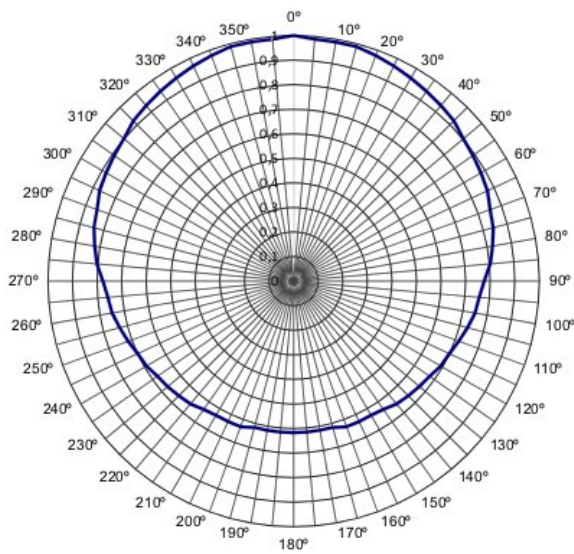
* Dados referentes a sistemas com frequência de 108.1 Mhz em Linha 1 5/8"

A = Altura do sistema (mm)
B = Centro de Fase do sistema (mm)
C = Espaçamento entre antenas (mm)
Área Exposta (m²)
Carga ao Vento (Kgf)
Peso (Kg)
* Características referentes a confecção em tubo padrão em latão.

Dipolo de ½ Onda para FM



Diagrama de Azimute



Graus	E/E _{max}	(dB)	(%)	Graus	E/E _{max}	(dB)	(%)
0°	1,00	0,0	100,0%	90°	0,78	-2,2	60,3%
5°	0,99	-0,1	97,7%	95°	0,76	-2,4	57,5%
10°	0,99	-0,1	97,7%	100°	0,75	-2,5	56,2%
15°	0,99	-0,1	97,7%	105°	0,73	-2,7	53,7%
20°	0,98	-0,2	95,5%	110°	0,72	-2,9	51,3%
25°	0,97	-0,3	93,3%	115°	0,70	-3,1	49,0%
30°	0,95	-0,4	91,2%	120°	0,69	-3,2	47,9%
35°	0,94	-0,5	89,1%	125°	0,68	-3,4	45,7%
40°	0,93	-0,6	87,1%	130°	0,67	-3,5	44,7%
45°	0,92	-0,7	85,1%	135°	0,66	-3,6	43,7%
50°	0,90	-0,9	81,3%	140°	0,65	-3,7	42,7%
55°	0,89	-1,0	79,4%	145°	0,64	-3,9	40,7%
60°	0,88	-1,1	77,6%	150°	0,63	-4,0	39,8%
65°	0,87	-1,2	75,9%	155°	0,63	-4,0	39,8%
70°	0,85	-1,4	72,4%	160°	0,63	-4,0	39,8%
75°	0,84	-1,5	70,8%	165°	0,62	-4,2	38,0%
80°	0,82	-1,7	67,6%	170°	0,62	-4,2	38,0%
85°	0,80	-1,9	64,6%	175°	0,62	-4,2	38,0%

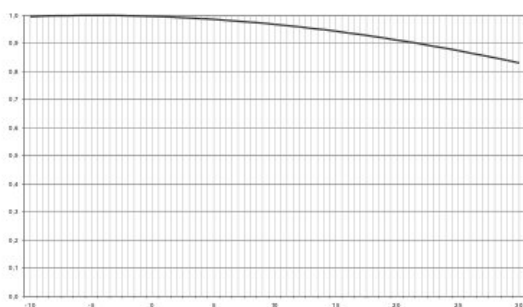
Graus	E/E _{max}	(dB)	(%)	Graus	E/E _{max}	(dB)	(%)
180°	0,62	-4,2	38,0%	270°	0,78	-2,2	60,3%
185°	0,62	-4,2	38,0%	275°	0,80	-1,9	64,6%
190°	0,62	-4,2	38,0%	280°	0,82	-1,7	67,6%
195°	0,62	-4,2	38,0%	285°	0,84	-1,5	70,8%
200°	0,63	-4,0	39,8%	290°	0,85	-1,4	72,4%
205°	0,63	-4,0	39,8%	295°	0,87	-1,2	75,9%
210°	0,63	-4,0	39,8%	300°	0,88	-1,1	77,6%
215°	0,64	-3,9	40,7%	305°	0,89	-1,0	79,4%
220°	0,65	-3,7	42,7%	310°	0,90	-0,9	81,3%
225°	0,66	-3,6	43,7%	315°	0,92	-0,7	85,1%
230°	0,67	-3,5	44,7%	320°	0,93	-0,6	87,1%
235°	0,68	-3,4	45,7%	325°	0,94	-0,5	89,1%
240°	0,69	-3,2	47,9%	330°	0,95	-0,4	91,2%
245°	0,70	-3,1	49,0%	335°	0,97	-0,3	93,3%
250°	0,72	-2,9	51,3%	340°	0,98	-0,2	95,5%
255°	0,73	-2,7	53,7%	345°	0,99	-0,1	97,7%
260°	0,75	-2,5	56,2%	350°	0,99	-0,1	97,7%
265°	0,76	-2,4	57,5%	355°	0,99	-0,1	97,7%

Dipolo de ½ Onda para FM

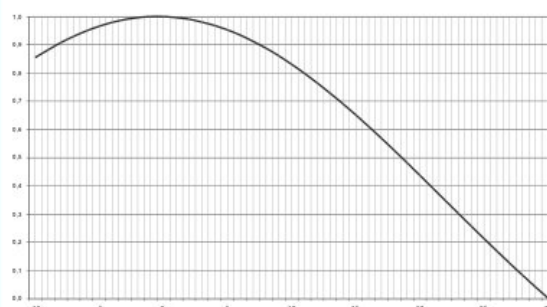
IDEAL
Antenas Profissionais

Diagrama de Elevação

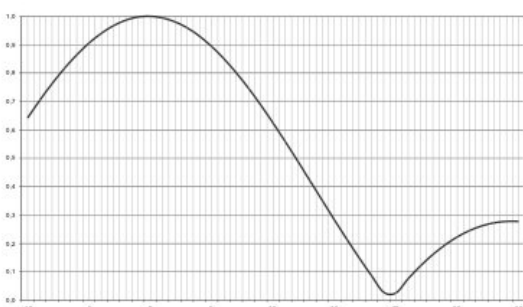
1 Elemento



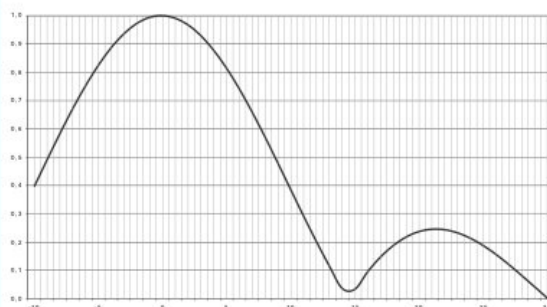
2 Elementos



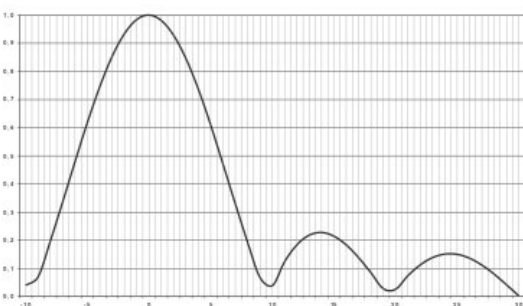
3 Elementos



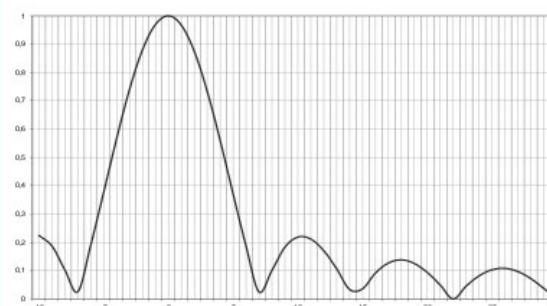
4 Elementos



6 Elementos



8 Elementos



***ANEXO B – Especificações técnicas do fabricante do
guia de onda utilizado***

Product Data Sheet

LCF158-50JFNL



1-5/8" CELLFLEX® Lite Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

CELLFLEX® Lite 1-5/8" low loss flexible cable

Application: Main feed line, Riser-rated In-Building



Features/Benefits

- **It represents a light-weight transmission line solution**
The light weight of CELLFLEX® Lite coaxial cable results in reduced work-force and lifting gear.
- **It is easy to transport, handle and install**
CELLFLEX® Lite coaxial cables enable savings in shipping cost.
- **It exhibits a cost-efficient alternative to copper transmission line**
CELLFLEX® Lite coaxial cable helps to reduce CAPEX spending.
- **It offers a user-friendly compatibility with RFS's existing range of accessories**
CELLFLEX® Lite coaxial cable requires less inventory additions, thus reduced OPEX.
- **It enables trouble-free installation and operation**
CELLFLEX® Lite coaxial cable avoids downtime and reduces OPEX.
- **The attenuation is comparable to the industry standard in traditional cable**
CELLFLEX® Lite coaxial cable maintains uncompromised coverage.
- **Specially developed connectors exhibit low and stable intermodulation performance**
CELLFLEX® Lite coaxial cable exceeds present PIM standards ensuring no dropped calls.
- **It is available with UV-resistant polyethylene or flame-retardant jackets**
CELLFLEX® Lite coaxial cable can be used outside and in indoor applications where restrictions apply.
- **It exceeds industry standard for return loss performance**
CELLFLEX® Lite coaxial cable means zero risk in network planning.

Technical Features

Structure

Inner conductor:	Corrugated Copper Tube	[mm (in)]	17.6 (0.69)
Dielectric:	Foam Polyethylene	[mm (in)]	40.9 (1.61)
Outer conductor:	Corrugated Aluminium	[mm (in)]	46.5 (1.83)
Jacket:	Polyethylene, PE, Metalhydroxite Filling	[mm (in)]	50.3 (1.98)

Mechanical Properties

Weight, approximately	[kg/m (lb/ft)]	0.78 (0.52)
Minimum bending radius, single bending	[mm (in)]	200 (8)
Minimum bending radius, repeated bending	[mm (in)]	500 (20)
Bending moment	[Nm (lb-ft)]	46.0 (34.0)
Max. tensile force	[N (lb)]	1800 (405)
Recommended / maximum clamp spacing	[m (ft)]	1.2 / 1.5 (4.0 / 5.0)

Electrical Properties

Characteristic impedance	[Ω]	50 +/- 1
Relative propagation velocity	[%]	90
Capacitance	[pF/m (pF/ft)]	74.0 (22.5)
Inductance	[μH/m (μH/ft)]	0.185 (0.056)
Max. operating frequency	[GHz]	2.75
Jacket spark test RMS	[V]	10000
Peak power rating	[kW]	310
RF Peak voltage rating	[V]	5600
DC-resistance inner conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.30 (0.396)
DC-resistance outer conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	0.68 (0.205)

Recommended Temperature Range

Storage temperature	[°C (°F)]	-70 to +85 (-94 to +185)
Installation temperature	[°C (°F)]	-25 to +60 (-13 to +140)
Operation temperature	[°C (°F)]	-50 to +85 (-58 to +185)

Other Characteristics

Fire Performance:	Flame Retardant, LS0H		
VSWR Performance:	Standard	[dB (VSWR)]	18 (1.288:1)
Other Options:	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.		

Frequency [MHz]	Attenuation [dB/100m 1]	Attenuation [dB/100ft]	Power [kW]
0.5	0.0480	0.0146	244
1.0	0.0680	0.0207	172
1.5	0.0834	0.0254	140
2.0	0.0963	0.0294	121
10	0.217	0.0662	53.9
20	0.309	0.0942	37.9
30	0.380	0.116	30.8
50	0.495	0.151	23.6
88	0.663	0.202	17.6
100	0.709	0.216	16.5
108	0.738	0.225	15.9
150	0.877	0.267	13.3
174	0.948	0.289	12.3
200	1.02	0.311	11.5
300	1.27	0.387	9.21
400	1.48	0.452	7.91
450	1.58	0.481	7.41
500	1.67	0.510	7.01
512	1.70	0.517	6.88
600	1.85	0.564	6.32
700	2.01	0.614	5.82
750	2.09	0.638	5.60
800	2.17	0.661	5.39
824	2.21	0.672	5.29
894	2.31	0.704	5.06
900	2.32	0.707	5.04
925	2.35	0.718	4.98
960	2.40	0.733	4.88
1000	2.46	0.750	4.76
1250	2.79	0.851	4.19
1400	2.98	0.908	3.93
1500	3.10	0.945	3.77
1700	3.33	1.02	3.51
1800	3.45	1.05	3.39
2000	3.67	1.12	3.19
2100	3.77	1.15	3.10
2200	3.88	1.18	3.02
2400	4.08	1.24	2.87
2500	4.18	1.28	2.80
2600	4.28	1.31	2.73
2700	4.38	1.34	2.67
2750	4.43	1.35	2.64

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature
Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature

All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering

RFS The Clear Choice ®

LCF158-50JFNL

Rev: C / 16.DEC.2010

Please visit us on the internet at <http://www.rfsworld.com/>

Radio Frequency Systems