

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MEDIDAS DE CAMPO DE
SINAIS DE TV

p o r

RÔMULO RAIMUNDO MARANHÃO DO VALLE

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

JUNHO - 1978

MEDIDAS DE CAMPO DE SINAIS DE TV

RÔMULO RAIMUNDO MARANHÃO DO VALLE

- Engenheiro Eletricista -

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

ORIENTADOR: EVANDRO CONFORTI

CAMPINA GRANDE
ESTADO DA PARAIBA - BRASIL
JUNHO - 1978



V181m Valle, Rômulo Raimundo Maranhão do.
Medidas de campo de sinais de TV / Rômulo Raimundo Maranhão do Valle. - Campina Grande, 1978.
99 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1978.
"Orientação : Prof. Evandro Conforti".
Referências.

1. Telecomunicações - TV. 2. Sinais de TV - Propagação. 3. Transmissão e Recepção. 4. Dissertação - Ciências. I. Conforti, Evandro. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 621.391(043)

O F E R E C I M E N T O S

*Em memória
de meu irmão
Ramires Maranhão do Valle*

*Em homenagem
a meus pais
Francisco/Agricola Valle
à professora
Célia Freire*

A G R A D E C I M E N T O S

- A os Professores Evandro Conforti e Paul A. Goud pela orientação prestada.
- A os Professores do Grupo de Comunicações pelas discussões e críticas desenvolvidas.
- A os funcionários Marcos Antônio Firmino Batista, Danilo de Castro Lima, José Marcelo Medeiros Rodrigues e Luciano Alberto de Araújo, pela assessoria prestada.

ÍNDICE

	pag.
RESUMO.....	iii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	ix
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II - REVISÃO DE CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	3
2.1 - Estruturas Independentes da Frequên cia.....	3
2.2 - A Antena Log-Periódica.....	5
2.3 - Arranjos de Dipolos Log-Periódicos...	7
2.4 - O Conceito de Raio Efetivo da Terra...	11
2.5 - As Zonas de Fresnel.....	17
2.6 - Transmissão Além do Horizonte.....	21
CAPÍTULO III - ESTUDO DOS PARÂMETROS DA ANTENA LOG-PERIÓDICA COMERCIAL YVC-19.....	27
3.1 - Caracteres Estruturais.....	28
3.2 - Medida do VSWR.....	28
3.3 - Levantamento dos Diagramas de Irradia ção.....	35
3.4 - Ganho da Antena.....	38
CAPÍTULO IV - ANÁLISE DOS ASPECTOS RELATIVOS AO MODO PREDO MINANTE DE PROPAGAÇÃO.....	46
4.1 - Levantamento dos Perfis do Enlace Reci fe - Campina Grande.....	46

4.2 - Cálculo dos Raios da 1ª Zona de Fresnel.....	49
4.3 - O "Range" de Linha de Visão e Determinação do Modo Predominante de Propagação.....	54
4.4 - Parâmetros Geométricos na Transmissão por Espalhamento Troposférico.....	58
4.5 - Perda Mediana de Transmissão do Enlace.....	67
CAPÍTULO V - MEDIDAS DE INTENSIDADE DE CAMPO DOS SINAIS DE TV.....	72
5.1 - Programa de Medições e Equipamentos.....	72
5.2 - Relato dos Resultados.....	79
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES.....	82
APÊNDICE I - BÔJO DA TERRA-K= 4/3.....	84
BÔJO DA TERRA-K= 2/3.....	85
APÊNDICE II - TOPOGRAFIA DO CAMINHO RECIFE - CAMPINA GRANDE.....	86
APÊNDICE III - DADOS SOBRE A INTENSIDADE DE CAMPO PARA A ZONA URBANA DE CAMPINA GRANDE....	88
APÊNDICE IV - VSWR.....	90
APÊNDICE V - ÁREAS DOS DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO DA ANTENA YVC-19.....	95
APÊNDICE VI - FREQUÊNCIAS MÉDIAS PARA OS CANAIS DE TV.....	97
BIBLIOGRAFIA.....	98

R E S U M O

O trabalho apresenta os resultados obtidos no levantamento dos parâmetros básicos de uma antena log-periódica comercial (YVC-19). Medições de campo de duas estações de TV (TV Universitária Canal 11 e TV Globo Canal 13) localizadas em Recife-Pe, são descritas e os resultados relatados. Destas medições, mapas apresentando curvas de intensidade de campo foram elaborados.

LISTA DE SÍMBOLOS

- b_n - Raio da enésima Zona de Fresnel
 C - Raio de curvatura do sinal de rádio
 d - Distâncias
 dN/dh - Gradiente da refratividade com a altura
 D - Diretividade da antena
 D_{lp} - Diretividade do lobo principal
 e - Pressão parcial do vapor d'água
 f - Frequência; fator de redução da diretividade da antena
 G - Ganho da antena
 h - Alturas
 H - Altura do volume de espalhamento acima da superfície
 $H_1 = H + H'$
 H' - Altura do terreno correspondente a H
 H_0 - Alturas das tangentes ao bojo terrestre nos pontos de recepção e transmissão
 h_{TS} - Altura da antena transmissora acima do nível do mar
 h_{RS} - Altura da antena receptora acima do nível do mar
 h_{LT} - Altura acima do nível do mar do terreno que determina o raio horizonte da antena transmissora
 h_{LR} - Altura acima do nível do mar do terreno que determina o raio horizonte da antena receptora
 k - Fator de eficiência da antena
 K - Fator raio efetivo da Terra
 l - Distâncias
 L_{bfs} - Perda de transmissão no espaço livre

- N - Refratividade da troposfera
 N_0 - Refratividade da troposfera ao nível do mar
 P - Pressão total do ar atmosférico
 R_n - Comprimento do vértice aos arcos que constituem a antena log-periódica planar "Slot"
 R' - Raio equivalente da Terra
 R - Raio real da Terra
 r - Distância entre dois pontos considerando-se terra polida e curva
 r_0 - Distância do horizonte
 T - Temperatura em graus Kelvin
 τ, ρ - Parâmetro de expansão da antena log-periódica
 σ - Fator de espaçamento da antena LPD
 λ - Comprimento de onda
 θ_0 - Ângulo de espalhamento
 α_0, β_0 - Ângulos formados pelo raio ligando as antenas transmissora e receptora e as tangentes aos horizontes das mesmas
 α_ϕ - Ângulo de feixe no plano H
 α_θ - Ângulo de feixe no plano E
 $\Delta E.L.$ - Excesso de atenuação devido ao modo de propagação
 L_f - Atenuação devido às correções para frequências no cálculo da perda mediana
 d_{LT} - Distância da antena transmissora à elevação que determina o raio horizonte
 d_{LR} - Distância da antena receptora à elevação que determina o raio horizonte
 mR - Miliradianos

LISTA DE FIGURAS

	pag.
Fig. 2.1.1 - Antena Espiral Equiangular.....	4
Fig. 2.1.2 - Antena Espiral Cônica.....	4
Fig. 2.2.1 - Antena Log-Periódica Planar "Slot".....	5
Fig. 2.2.2 - Antena Log-Periódica Planar Inclinada....	6
Fig. 2.3.1 - Estrutura Log-Periódica com Fios.....	7
Fig. 2.3.2 - Antena Dipolo Log-Periódica.....	8
Fig. 2.3.3 - Alimentação da LPD.....	10
Fig. 2.3.4 - Diagramas de Irradiação de uma LPD <u>típi</u> <u>ca</u>	11
Fig. 2.4.1 - Encurvamento do Sinal de Rádio.....	13
Fig. 2.4.2 - Situações no Tratamento da Terra Real e Efetiva.....	13
Fig. 2.4.3 - Situações da Refração Atmosférica.....	15
Fig. 2.5.1 - Localização do Irradiador Isotrópico e do Ponto Destino (Zonas de Fresnel).....	17
Fig. 2.5.2 - Círculos Concêntricos sobre a Frente de Onda Esférica.....	18
Fig. 2.5.3 - Fases das Fontes com Relação à Fonte Cen tral (Zonas de Fresnel).....	19
Fig. 2.5.4 - Perda de Transmissão α Desobstrução.....	20
Fig. 2.5.5 - Determinação dos Raios das Zonas de Fresnel.....	21
Fig. 2.6.1 - Distância do Horizonte.....	22
Fig. 2.6.2 - Zonas Iluminada, Penumbra e Escura.....	22

	pag.
Fig. 2.6.3 - Difração de Ondas de Rádio.....	23
Fig. 2.6.4 - Espalhamento Troposférico.....	24
Fig. 2.6.5 - Volume de Turbulência e Energia Espalhada	25
Fig. 2.6.6 - Rota do "Great Circle".....	26
Fig. 3.1.1 - Detalhes de Construção da Antena YVC-19..	29
Fig. 3.1.2 - Detalhes de Construção da Antena YVC-19..	30
Fig. 3.2.1 - VSWR x Atenuação.....	32
Fig. 3.2.2 - Percentagem de Potência x Frequência.....	34
Fig. 3.3.1 - Obtenção do E_{ϕ} (Plano H).....	36
Fig. 3.3.2 - Obtenção do E_{ϕ} (Plano E).....	36
Fig. 3.3.3 - Obtenção dos Diagramas de Irradiação da Antena YVC-19.....	37
Fig. 3.3.4 - Mapa para Registro da Intensidade de Cam po.....	38
Fig. 3.3.5 - Diagramas de Irradiação (Plano E).....	40
Fig. 3.3.6 - Diagramas de Irradiação (Plano H).....	41
Fig. 3.4.1 - Mapa para Registro das Áreas dos Lobos...	43
Fig. 4.1.1 - Bojo da Terra entre T e R.....	47
Fig. 4.1.2 - Perfil Recife-Campina Grande ($K=4/3$).....	50
Fig. 4.1.3 - Perfil Recife-Campina Grande ($K=2/3$).....	51
Fig. 4.1.4 - Perfil Recife-Campina Grande ($K=\infty$).....	52
Fig. 4.2.1 - Verificação de Desobstrução para $K=\infty$	55
Fig. 4.3.1 - Zonas Iluminada, Penumbra e Escura.....	56
Fig. 4.3.2 - Determinação do "Range" de Linha de Visão	56
Fig. 4.4.1 - Parâmetros Geométricos na Transmissão Via Espalhamento Troposférico.....	58

Fig. 4.4.2 - Perfil Característico com os Parâmetros Geométricos na Propagação Via Espalhamento Troposférico.....	60
Fig. 4.4.3 - Obtenção do H_1	61
Fig. 4.4.4 - Perfil para Estudo da Propagação Via Espalhamento entre Recife-Campina Grande.....	62
Fig. 4.4.5 - Obtenção do H_0	63
Fig. 4.5.1 - Excesso de Atenuação (ΔEL).....	68
Fig. 4.5.2 - Correção da Perda para a Frequência.....	69
Fig. 4.5.3 - Altura do Volume de Espalhamento para Terra Polida (H_0) e Terra Real (H_1).....	69
Fig. 4.5.4 - Correção para a Altitude do Volume.....	70
Fig. 5.1.1 - Estações Transmissora e Receptora no Enlace.....	73
Fig. 5.1.2 - Grade de Medições.....	74
Fig. 5.1.3 - Unidade de Medição com Mastro na Mínima Altura.....	76
Fig. 5.1.4 - Unidade de Medição com Mastro Estendido no Local.....	77
Fig. 5.2.1 - Mapa de Intensidade de Campo para o Canal 11.....	80
Fig. 5.2.2 - Mapa de Intensidade de Campo para o Canal 13.....	81

LISTA DE TABELAS

	pag.
Tabela 3.2.1 - VSWR para a Antena YVC-19.....	28
Tabela 3.2.2 - Correção para o VSWR.....	31
Tabela 3.2.3 - Percentagem de Potência em Função das Frequências.....	33
Tabela 3.2.4 - Valores de k Versus Frequência.....	35
Tabela 3.4.1 - Valores de $\alpha_\phi, \alpha_\theta$ e D_{lp} para Frequências na Banda de TV.....	43
Tabela 3.4.2 - Diretividade para a Antena YVC-19.....	44
Tabela 3.4.3 - Ganho para a Antena YVC-19.....	45
Tabela 4.3.1 - Valores para o Contorno entre as Zonas Iluminada, Penumbra e Escura.....	57
Tabela 4.4.1 - Parâmetros Obtidos a Partir do Mapa....	64
Tabela 4.4.2 - Valores de H, H', H_1 e H_0 para as Altitudes de 500 m e 600 m.....	66
Tabela 4.4.3 - Resultados dos Parâmetros Relativos ao Enlace Recife-Campina Grande.....	66
Tabela 5.1.1 - Detalhes do Local de Transmissão.....	75
Tabela 5.1.2 - Pontos de Medição e Datas de Realização	78

INTRODUÇÃO

Na sociedade hodierna, a televisão desempenha um papel de indiscutível importância na vida das pessoas, à medida que conjuga o sinal de áudio e vídeo no processo de informação e entretenimento. Em grande parte das situações, pode ela representar uma das poucas opções de lazer.

Do ponto de vista do usuário, ocorre o desejo de ser-lhe oferecida uma "boa" imagem e ele sabe que a antena é elemento indispensável ao sistema. Algumas delas lhe garantem uma recepção correspondente às suas expectativas, bem como, asseguram a recepção dos sinais, caso exista mais de uma estação transmissora. São as conhecidas estruturas independentes da frequência.

Não tão conhecidos, no entanto, são os processos pelos quais a transmissão e a recepção dos sinais podem ocorrer. É difundida de forma generalizada, a explicação de que o tipo de propagação de sinais de TV corresponde ao modo de visada direta. Como sabemos, isto não ocorre necessariamente.

Este trabalho se propõe a examinar estes dois aspectos, em um caso específico: a utilização de uma antena comercial, tipo log-periódica e o processo de propagação dos sinais de duas estações de TV situadas na cidade de Recife, Estado de Pernambuco, no caso o Canal 11 (TV Universitária - frequência central de 199 MHz) e o Canal 13 (TV Globo - frequência central de 213 MHz).

A justificativa para tais escolhas, está em que a antena em estudo tem seu uso difundido na região, devido ao seu baixo custo e razoáveis ofertas de desempenho. Além disto, a situação econômica e social assumida pela Cidade de Recife, onde operam estas duas estações, faz com que elas desfrutem de uma razoável audiência na região.

Focalizando por outro lado, o aspecto técnico da

questão, se procurou elaborar mapas de intensidade de campo recebido em Campina Grande, para os sinais nestas frequências, utilizando a antena em questão como antena receptora.

No Capítulo II, um resumo da teoria básica acerca do assunto é apresentado, ressaltando tópicos de especial interesse, como dados acerca de estruturas com a característica de independência de frequência (em especial focaliza-se a antena log-periódica), o conceito de Raio Efetivo da Terra, as Zonas de Fresnel e a transmissão além do horizonte. No Capítulo III, os parâmetros da antena são levantados. Os estudos referentes ao modo de propagação do sinal, são desenvolvidos no Capítulo IV, enquanto que no Capítulo V descrevemos o processo de medição de intensidade de campo dos sinais das estações de TV acima referidas.

O trabalho é concluído com a apresentação de apêndices onde dados relacionados com todos os assuntos tratados, bem como cartas de medidas efetuadas, podem ser consultadas.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 - Estruturas Independentes da Frequência

Grande parte das pesquisas levadas a cabo na área de Antenas, foi voltada para a construção de estruturas que apresentassem a característica de independência da frequência. Isto pode ser conseguido, em princípio, caso uma das dimensões da antena (por exemplo, a largura), seja variada proporcionalmente ao comprimento de onda, em relação à outra dimensão (por exemplo, o comprimento) da antena. Com isto, todas as características pertinentes à antena, tais como ganho, diretividade, impedância, diagramas de irradiação, se não invariantes quando este escalamento é efetuado.

Foi então proposto que tal estrutura, sendo definida totalmente por ângulos nas formas, apresentaria a característica desejada. No entanto, antenas práticas, devem considerar dimensões finitas, o que exige a necessidade de se "truncar" a estrutura. Então a questão passou a residir em se saber se, quando truncadas as propriedades seriam mantidas ou não.

Como exemplo, a estrutura bicônica infinita, mantinha a propriedade de independência da frequência, mas quando truncada, passou a não satisfazê-la. Já a estrutura espiral equiangular, quando truncada na forma de uma antena, mantinha esta característica dentro de um determinado "range" de frequências.

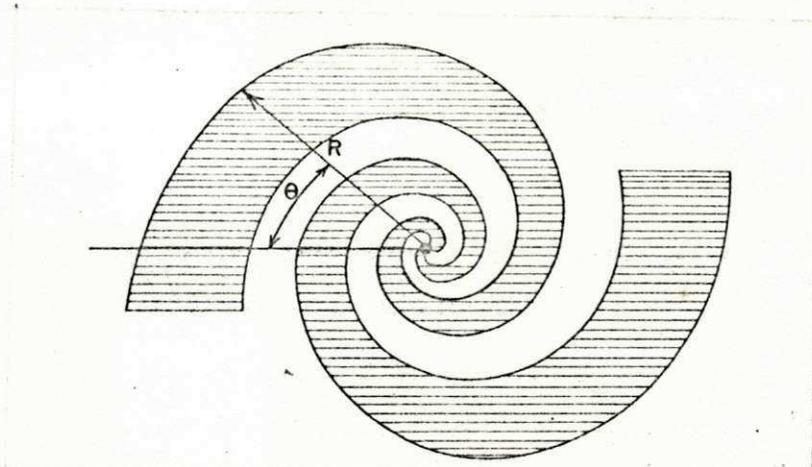


Fig. 2.1.1 - Antena Espiral Equiangular

A antena é mostrada na fig. 2.1.1, é constituída de braços metálicos, e o ângulo entre a espiral e o raio vetor permanece o mesmo para todos os pontos da curva. A manutenção do ângulo acima referido, justifica o nome adotado para tal antena. Ela apresenta diagramas de irradiação bidirecionais com o campo polarizado circularmente.

Outro tipo de estrutura que mantém a característica de independência de frequência, é antena espiral cônica (fig.2.1.2).

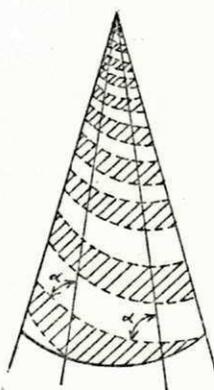


Fig. 2.1.2 - Antena Espiral Cônica

Básicamente, ela é constituída de uma espiral metálica enrolada sobre uma superfície cônica. Em pesquisas realizadas, para ângulos cônicos menores que 45° , ela apresentou a característica de independência da frequência. Também apre

sentou polarização circular como a equiangular.

2.2 - A Antena Log-Periódica

Um irradiador plano metálico, representa sem dúvi das, uma simplificação de ordem prática atraente. Da mesma forma que a antena espiral equiangular planar, a antena log-periódica apresenta características de independência de fre quência (dentro de um certo "range"). Vamos apresentar adi ante, alguns aspectos da antena.

Os primeiros estudos acerca da antena log-periódica foram desenvolvidos por Du Hamel (ref. bib. 3), utili zando uma estrutura planar "slot" (Fig. 2.2.1).

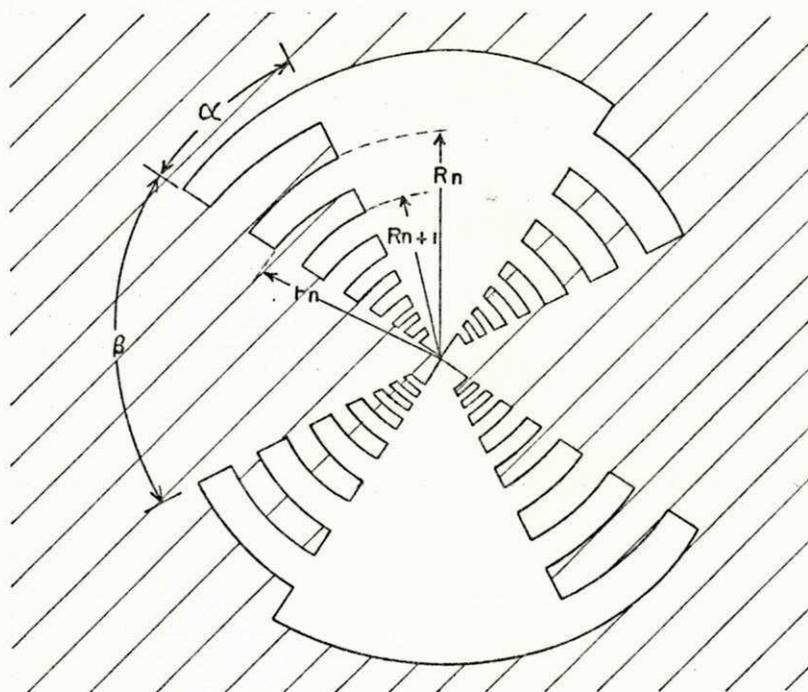


Fig. 2.2.1 - Antena Log-Periódica Planar "Slot"

Ela é constituída de dentes cortados na placa me tática ao longo de arcos circulares. Estes dentes, são cal

culados pela relação

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} \quad (2.2.1)$$

$$\rho = \frac{r_n}{R_n} \quad (2.2.2)$$

A antena é energizada no vértice em setores opostos. O parâmetro de expansão τ , sendo uma relação de comprimentos, é efetivamente um ângulo, que é mantido, satisfazendo o princípio de independência da frequência.

A polarização é linear e a direção de irradiação é perpendicular à ambas as faces metálicas.

Uma variação deste tipo de antenas foi conseguida, dobrando-se os braços da antena anterior, de forma que entre eles ocorresse um ângulo ψ . O caso de $\psi = 130^\circ$, resultaria na antena já estudada (fig. 2.2.2).

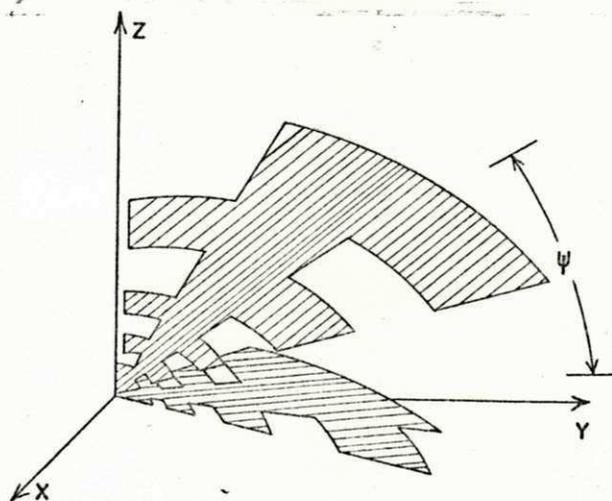


Fig. 2.2.2 - Antena Log Periódica Planar Inclinada

A principal mudança observada, com esta modificação, foi que os diagramas de irradiação passaram a apresentar uma direção de irradiação preferencial.

2.3 - Arranjos de Dipolos Log-Periódicos

As estruturas planares são convenientes em dimensões centimétricas, mas tornam-se impraticáveis em dimensões maiores. Este fato, levou a se tentar substituir a estrutura plana, pela estrutura com fios metálicos; isto foi feito, dando-se ao fio, a forma da estrutura plana (fig.2.3.1).

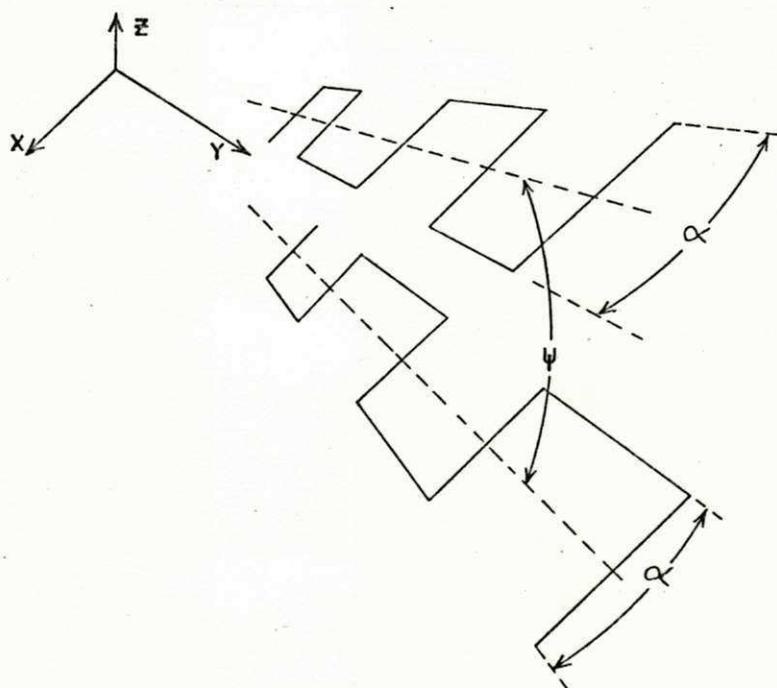


Fig. 2.3.1 - Estrutura Log Periódica com Fios

Isto é, simulou-se com tubos metálicos, a estrutura plana, fazendo-se os tubos obedecerem a periferia externa da estrutura metálica.

Um passo natural foi, tentar construir uma antena, com elementos convencionais. O princípio de se determinar os comprimentos dos elementos por ângulos e mantendo-se o espaçamento entre eles tais que, fosse mantida a relação $R_{n+1}/R_n = \tau$, permaneceu (fig.2.3.2).

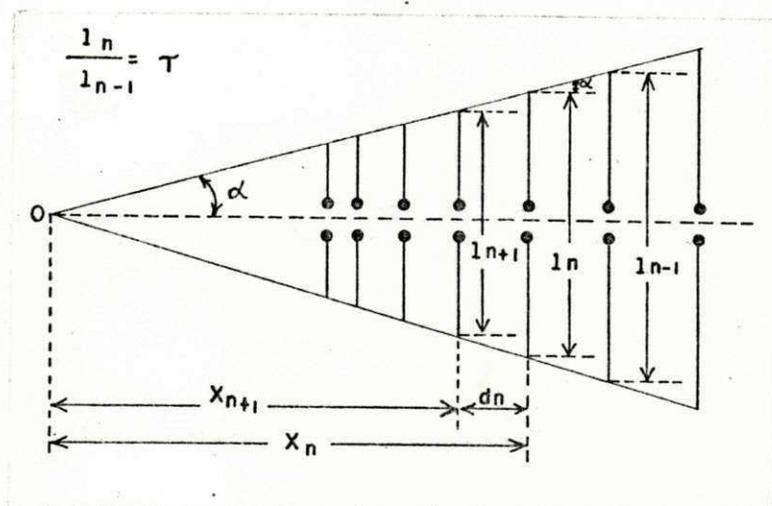


Fig. 2.3.2 - Antena Dipolo Log-Periódica

Os comprimentos dos dipolos e as distâncias entre eles, são relatados pelo fator de escala τ e fator de espaçamento σ :

$$\frac{l_n}{l_{n-1}} = \frac{d_n}{d_{n-1}} = \tau < 1 \quad (a)$$

(2.3.1)

$$\frac{d_n}{2l_n} = \sigma \quad (b)$$

A descrição completa de sua geometria, exige ainda que se defina um outro parâmetro: o ângulo α . Da geometria da figura 2.3.2, tem-se:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(l_n - l_{n+1})/2}{d_n} = \frac{l_n(1-\tau)}{2d_n}$$

dividindo-se a relação por l_n ,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1-\tau}{4\sigma} \quad \text{ou}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321-7222-R 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{(1 - \tau)}{4 \sigma} \quad (2.3.2)$$

Considerando as relações acima, o comprimento de um elemento de ordem n , será dado por:

$$\begin{aligned} l_1 & \\ l_2 &= l_1 \tau \\ l_3 &= l_2 \tau = l_1 \tau^2 \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & \cdot \\ l_n &= l_1 \tau^{(n-1)} \end{aligned} \quad (2.3.3)$$

A antena é construída com dipolos metálicos, elementos discretos e é alimentada na extremidade cujo prolongamento encontra o vértice 0. Como a LPD é composta de elementos ressonantes convencionais, a performance de independência da frequência é conseguida já que, as ressonâncias são variadas quando a frequência de operação o for e a função de elemento ressonante é transferida suavemente de um elemento para o próximo. Assim, as dimensões físicas dos elementos, devem ser projetadas de tal forma, que a antena cubra uma determinada faixa de frequências.

Observando os detalhes construcionais relatados anteriormente, teremos que se l_1 é ressonante numa frequência correspondente a f_1 , a relação de periodicidade para a frequência também ocorre.

$$\begin{aligned}
 f_1 & \\
 f_2 &= f_1/\tau \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 f_n &= f_1/\tau^{(n-1)} \\
 f_{n+1} &= f_1/\tau^{(n)}
 \end{aligned}
 \tag{2.3.4}$$

Esta última equação, pode também ser reescrita como

$$f_{n+1} = f_n \cdot \frac{1}{\tau} \tag{2.3.4-a}$$

Dela, podemos escrever

$$\log f_{n+1} = \log f_n + \log\left(\frac{1}{\tau}\right) \tag{2.3.5}$$

Ela nos mostra que a performance é uma função periódica do logaritmo da frequência; as frequências são espaçadas igualmente, quando plotadas num papel logarítmico. Isto justifica o termo Log-Periódica, para tais antenas.

Como pode ser observado da figura 2.3.3, cada elemento da antena é alimentado com um defasamento de 180° com relação ao elemento mais próximo. Isto é feito, alternando-se as conexões de alimentação dos elementos.

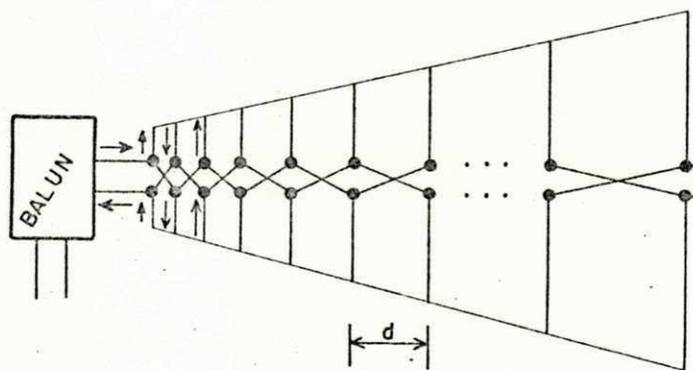


Fig. 2.3.3 - Alimentação da LPD

O diagrama de irradiação característico, é um feixe "end-fire", na direção negativa, como indicado na Fig. 2.3.2. As larguras de feixe são aproximadamente constantes em ambos os planos principais e a diretividade é função do τ e do α . A diretividade típica de um arranjo log-periódico LPD está em torno de 10 dB.

A Fig. 2.3.4, mostra os diagramas de irradiação para uma antena log-periódica típica, nos planos E e H.

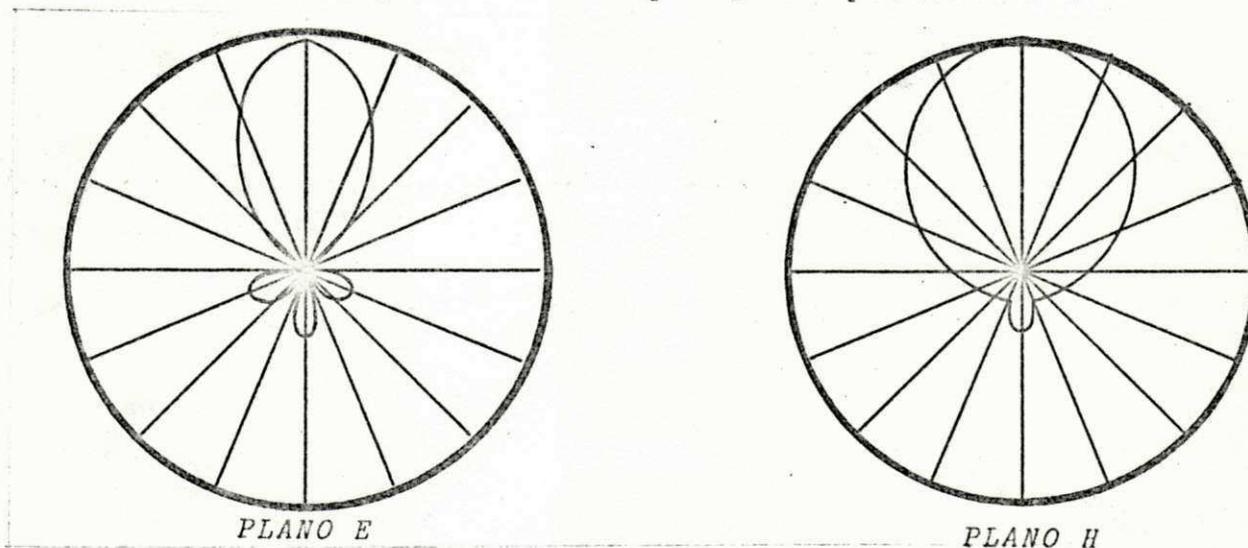


Fig. 2.3.4 - Diagramas de Irradiação de uma LPD típica

Concluindo, resta acrescentar que a antena log-periódica dipolos (LPD), irradia um campo polarizado no plano paralelo aos elementos que a compõem.

2.4 - O Conceito de Raio Efetivo da Terra

Um sistema de comunicações é basicamente constituído de uma estação transmissora e uma estação receptora afastadas entre si. No processo de análise do sinal recebido, é necessário levar em conta um fenômeno importante: a refração a que está sujeita a onda quando se desloca na Troposfera. Ela ocorre, devido às propriedades meteorológicas que a Troposfera (região que se estende desde a superfície terrestre até alturas de, aproximadamente, 16 Km), apresenta. A refração da Troposfera, N , é função de parâmetros que variam com a altura, conforme a equação abaixo:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (2.4.1)$$

onde

e = pressão parcial do vapor d'água em milibar

P = pressão total do ar atmosférico em milibar

T = temperatura em graus Kelvin.

Até altitudes que a delimitam (em torno de 16 Km), a troposfera é basicamente constituída de 80% de nitrogênio molecular (N_2) e 20% de oxigênio molecular (O_2). A dissociação destes elementos só ocorre em altitudes muito maiores, a partir de, aproximadamente, 100 Km. A temperatura é um parâmetro que varia consideravelmente com a altura, apresentando um gradiente de diminuição de $6^{\circ}C$ por quilômetro. Isto ocorre, devido à forma de aquecimento a que é submetida pelos raios solares. A troposfera é "transparente" aos raios solares que aquecem a superfície terrestre, que passa a se constituir, por sua vez, a sua fonte de aquecimento.

Considerando-se todas estas condições características e, através de estudos experimentais, constatou-se a variação da refratividade N com a altura, segundo uma lei exponencial que pode ser expressa por

$$N = N_0 e^{-bh} \quad (2.4.2)$$

onde

N_0 = refratividade referida ao nível do mar

h = altura do ponto em estudo

b = constante

Com o objetivo de estabelecer uma referência, o CCIR adotou um estado atmosférico médio, denominado de ATMOSFERA PADRÃO, apresentando as seguintes características:

$$N_0 = 289$$

$$\frac{dN}{dh} = -40 \text{ unidades } N/Km$$

as quais, levadas à expressão (2.4.2) nos dá

Podemos então raciocinar nos seguintes termos: caso uma onda eletromagnética se propagasse em uma região onde não ocorressem variações do índice de refração com a altura, ela iria percorrer um caminho segundo uma linha reta. No entanto, quando este parâmetro varia com a altura, o caminho da onda é encurvado (Fig. 2.4.1).

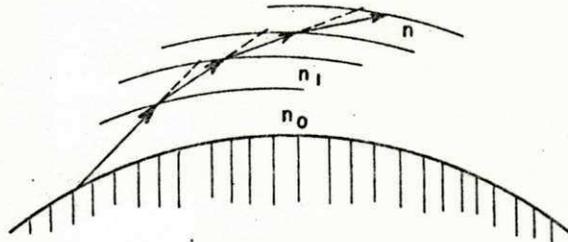


Fig. 2.4.1 - Encurvamento do Sinal de Rádio

No entanto, trabalhar com o raio descrevendo um percurso retilíneo, simplifica os cálculos de engenharia. Isto é possível utilizando-se o conceito de RAIO EFETIVO DA TERRA. Na atmosfera padrão, podemos admitir uma terra maior do que a real, de tal forma que, a curvatura do raio possa ser absorvida pela curvatura da terra efetiva. Trabalha-se então, com raios retilíneos sobre uma terra efetiva, no lugar de raios curvos sobre uma terra real (Fig. 2.4.2) :



R = raio real da terra

C = raio de curvatura do sinal

R' = raio equivalente da terra

Fig. 2.4.2 - Situações do Tratamento de Terra Real e Efetiva

Utilizando conceitos geométricos de curvatura de arcos, chega-se à expressão para o raio equivalente da terra (R') em função da refratividade (N), do raio real (R) e do raio de curvatura do sinal (C):

$$R' = \frac{R}{1 - R/C} \text{ m} \quad (2.4.4)$$

Por sua vez, o raio de curvatura C é dado por

$$C = \frac{10^6}{dN/dh} \text{ m} \quad (2.4.5)$$

Substituindo esta expressão, na equação para R' , vem

$$R' = \frac{R}{1 + R \frac{dN}{dh} 10^{-6}} \text{ m} \quad (2.4.6)$$

ou ainda

$$K = \frac{R'}{R} = \frac{1}{1 + R \frac{dN}{dh} \times 10^{-6}} \quad (2.4.7)$$

onde K é o FATOR RAIOS EFETIVO DA TERRA. Desta forma,

$$R' = KR$$

Como vemos, o K é determinado pelas condições de refratividade, mais precisamente, pelo gradiente de refratividade com a altura.

Para a atmosfera padrão, $dN/dh = -4 \times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$ e, tomando o raio real da terra igual a $R = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$, obtemos

o valor para K

$$K = \frac{1}{1 + 6,37 \times 10^6 (-4 \times 10^{-2}) \times 10^{-6}} \approx 4/3$$

Assim, dependendo das condições de refatividade, K assumirá diversos valores. Ele poderá assumir valores menores que zero (caso da super-refração) até o valor de $K = \infty$ (refração crítica).

As situações possíveis, são resumidas na figura 2.4.3, a seguir

Fig. 2.4.3 - Situações da Refração Atmosférica

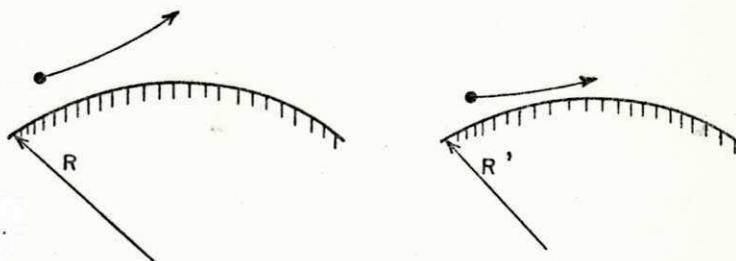
1 - REFRAÇÃO NEGATIVA - Ocorre quando dN/dh aumenta com a altura. O raio real é encurvado para cima.

CARACTERÍSTICAS:

$$\frac{dN}{dh} > 0$$

$$K < 1$$

$$R' < R$$



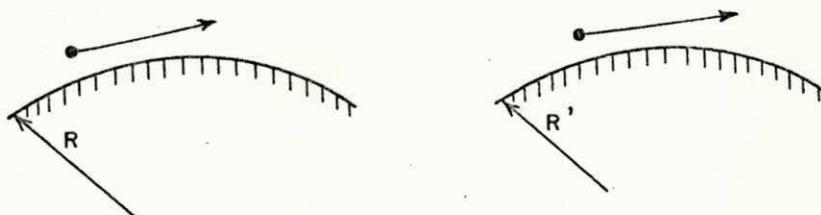
2 - REFRAÇÃO NULA - Ocorre quando dN/dh permanece fixo em um intervalo

CARACTERÍSTICAS:

$$\frac{dN}{dh} = 0$$

$$K = 1$$

$$R' = R$$



- 3 - REFRAÇÃO POSITIVA - Ocorre quando dN/dh diminui com a altura. O raio real é encurvado para baixo.

$$\frac{dN}{dh} < 0$$

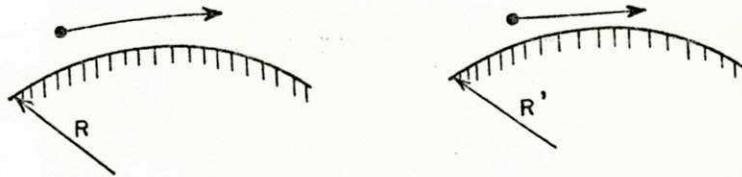
$$1 < K \leq \infty$$

$$R' > R$$

- a - Sub Refração - Encurvamento do raio real é menor que na refração padrão.

$$1 < K < 4/3$$

$$-0,04 < \frac{dN}{dh} < 0$$



- b - Refração Padrão - Encurvamento padrão.

$$K = 4/3$$

$$\frac{dN}{dh} = -0,04$$

- c - Refração Aumentada - Encurvamento do raio é maior do que na refração padrão.

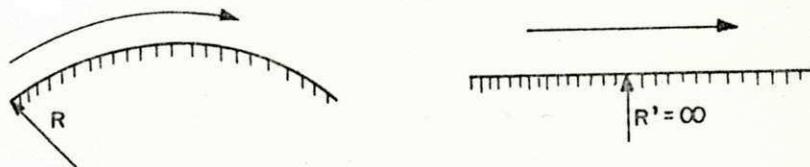
$$4/3 < K \leq \infty$$

$$-0,157 < \frac{dN}{dh} < -0,04$$

- d - Refração Crítica - O raio de curvatura da onda é igual ao raio de curvatura da terra

$$K = \infty$$

$$\frac{dN}{dh} = -0,157$$

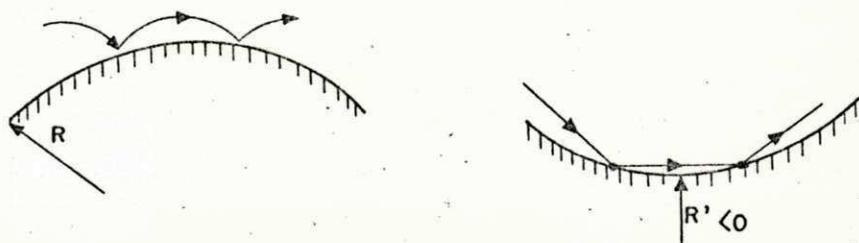


- 4 - SUPER REFRAÇÃO - Quando o encurvamento do raio é mais pronunciado do que na refração crítica.

$$\frac{dN}{dh} < -0,157$$

$$K < 0$$

$$R' < 0$$



As regiões da troposfera que apresentam este tipo de comportamento, são conhecidas como dutos troposféricos. O principal motivo de tal ocorrência, é a inversão de temperatura, isto é, no lugar de acontecer o decrescimento da temperatura com a altura, $dt/dh > 0$.

Para concluir este item, é interessante lembrar que, ao longo de um caminho de propagação, podem se apresentar mais que uma forma de refração.

2.5 - As Zonas de Fresnel

A energia de uma onda de rádio, realmente, não percorre um caminho tal como o admitido em correspondência com a ótica geométrica. Isto significa que ela não ocupa uma linha reta unindo a fonte ao destino, mas ocupa sim, um certo volume finito ao longo desta linha imaginária. As Zonas de Fresnel esclarecem este aspecto da propagação de ondas.

Supõe-se a existência de um irradiador isotrópico, situado no ponto A (figura 2.5.1) e um ponto destino em B.

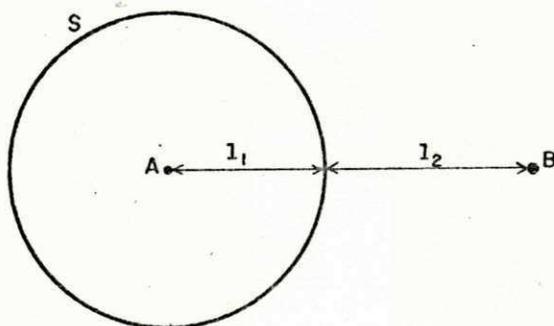


Fig. 2.5.1
Localização do irradiador isotrópico e do ponto destino.

S é uma superfície esférica, representando a frente de onda oriunda de A e distante l_2 de B. Se desenharmos uma série de linhas a partir de B tal que elas cruzem a superfície esférica S em pontos distantes $l_2 + (n\lambda)/2$ de B, as intersecções destas linhas com S apresentam círculos concêntricos sobre a superfície (Fig. 2.5.2):

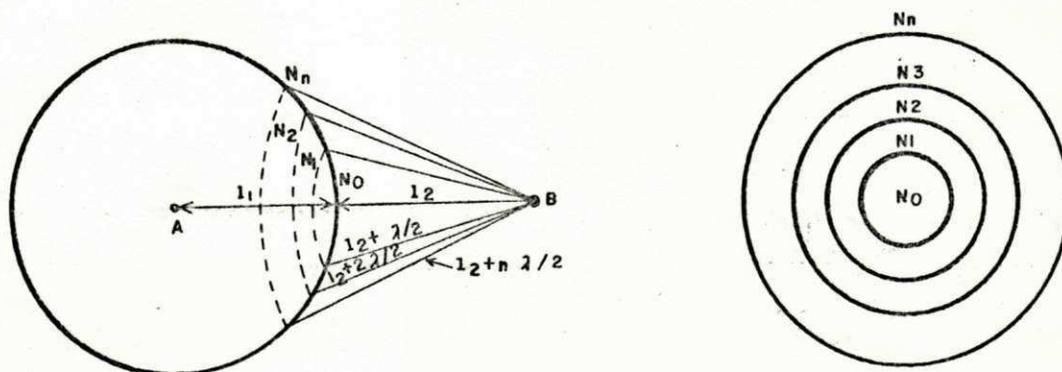


Fig. 2.5.2 - Círculos concêntricos sobre a superfície esférica da frente de onda.

$$BN_0 = l_2$$

$$BN_1 = l_2 + \lambda/2$$

$$BN_2 = l_2 + 2 \lambda/2$$

·
·
·

$$BN_n = l_2 + n \lambda/2$$

As Zonas de Fresnel, são as porções esféricas contornadas por círculos adjacentes.

O princípio de Huygens estabelece que os pontos da frente de onda se constituem fontes para ondas esféricas secundárias. Neste caso, cada ponto situado dentro de uma Zona de Fresnel será uma fonte para outras ondas de rádio.

O ponto N_0 é uma fonte que emite ondas de rádio que chegam ao destino B, após percorrerem uma distância l_2 . Todas as ondas oriundas de pontos dentro da 1ª Zona, ao chegarem ao ponto B, não apresentam diferença de fase de 180° , com relação à fase da onda emitida por N_0 . O defasamento, está situado entre $0^\circ - 180^\circ$.

Por outro lado, as ondas criadas pelas fontes situadas dentro da 2ª Zona, diferem em fase das ondas criadas pelo emissor N_0 , de um ângulo situado entre $180^\circ - 360^\circ$.

O que se admite, é que todas as ondas criadas por fontes situadas na 1ª Zona estão em fase com as criadas pela

fonte em N_0 . Também que, todas elas originárias de fontes situadas na 2^a Zona, estão defasadas de 180° . Estas considerações são ilustradas na figura que segue (Fig. 2.5.3). O sinal + representa uma fonte que cria ondas em fase com as de N_0 e o - defasadas de 180° das de N_0 :

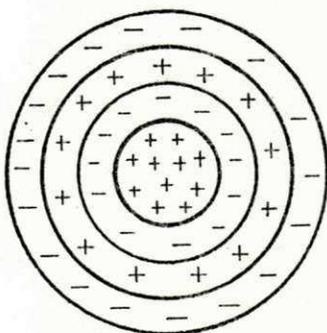


Fig. 2.5.3 - Fases das Fontes com Relação à Fonte Central

No estudo de enlaces, objetiva-se sempre, obter-se uma situação próxima a da propagação no espaço livre. Para que a propagação seja equivalente à no espaço livre (abstraindo-se o efeito de refração de sinal), é necessário que ocorra desobstrução da linha de visada bem como a da 1^a Zona de Fresnel.

Os obstáculos situados fora da 1^a Zona de Fresnel causam, por efeito de difração, variações da atenuação no espaço livre menores do que 2 dB, o que é desprezível em relação às atenuações totais do lance. Para o caso do obstáculo tangente à linha de visada, a atenuação devido à difração está em torno de 6 dB (Fig. 2.5.4).

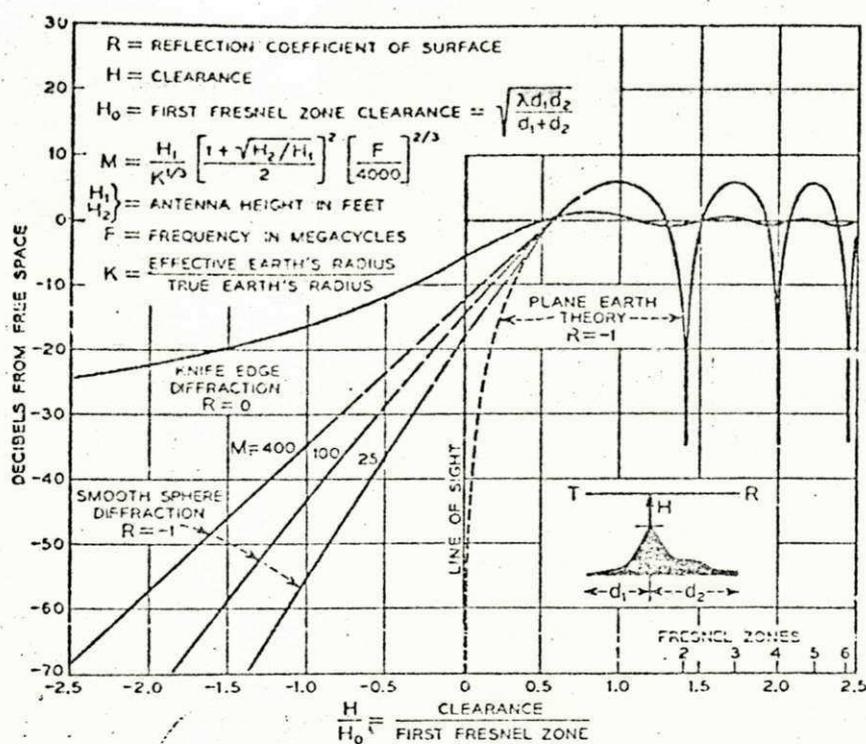


Fig. 2.5.4 - Perda de Transmissão em Função da De sobstrução (BSTJ - MAIO, 1957).

O outro fato importante que deve ser destacado é que, as ondas criadas por zonas de alta ordem adjacentes, se cancelam, sendo este cancelamento tanto mais efetivo, quanto mais altas forem as suas ordens. E mais: o efeito total destas zonas de ordem superior, equivale, aproximadamente, à metade do efeito da 1ª Zona de Fresnel. Assim a 1ª Zona de Fresnel, é a que contorna o volume que contribui significativamente para a propagação da onda.

Voltando para a figura 2.5.2, é possível mostrar que os pontos N_n estão na superfície de um elipsoide de revolução cujos focos são os pontos A e B (Fig. 2.5.5).

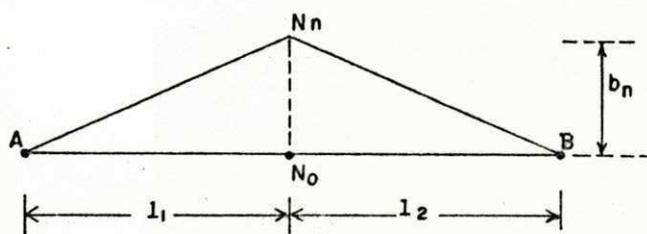


Fig. 2.5.5 - Determinação do Raio da Zona de Fresnel

De observações geométricas e, aplicando-se o desenvolvimento binomial, chega-se a

$$b_n = \sqrt{\frac{l_1 l_2 n \lambda}{l_1 + l_2}} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.5.1)$$

onde b_n é o raio da n ésima Zona de Fresnel. Para a primeira Zona, teremos

$$b_1 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} \quad (2.5.2)$$

Tudo o que foi dito acima, pode ser resumido a seguir: a energia da onda de rádio é transmitida dentro de um certo volume tendo a forma de um elipsóide de revolução, conornado pela 1ª Zona de Fresnel.

2.6 - Transmissão Além do Horizonte

No desenvolvimento das pesquisas em comunicações utilizando a atmosfera terrestre como meio de propagação após ter-se estabelecido o efeito do raio refletido na Terra, na composição do campo total recebido, observou-se que a validade das equações que compunham esta teoria, era limitada à distância do horizonte. Isto é, quando $r \rightarrow r_0$, o campo gradualmente tenderia a zero (Fig. 2.6.1).

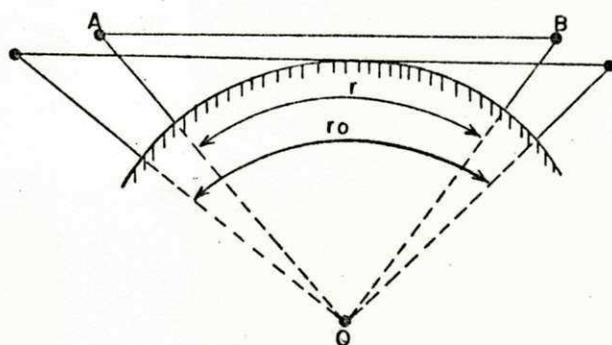


Fig. 2.6.1 - A distância do horizonte.

No entanto a observação e o registro de sinais a distâncias além do horizonte, mostraram que é possível a recepção de sinais mesmo para distâncias maiores que r_0 , utilizando a troposfera como meio de propagação. O caminho de propagação entre duas antenas pode ser dividido em setores onde modos diferentes de propagação ocorrem. A figura 2.6.2 mostra estes três setores:

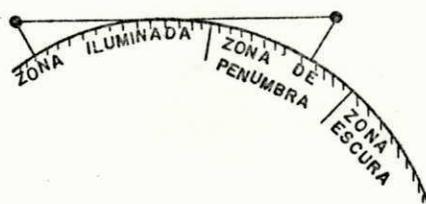


Fig. 2.6.2 - Zonas iluminada, penumbra e escura na propagação de ondas difratadas.

Admite-se como limites referentes às regiões citadas, as seguintes distâncias:

Zona iluminada - até $0,8 r_0$ a partir da antena transmissora.

Zona de Penumbra - entre $0,8 r_0$ e $1,2 r_0$.

Zona Escura - além de $1,2 r_0$.

Na Zona Iluminada, predominam as equações que consideram a ocorrência dos raios direto e refletido. Dentro da Zona de Penumbra e Escura o sinal é recebido através do fenômeno de Difração de Ondas. No processo de difração de ondas, as características da terra (condutividade σ , constante dielétrica ϵ) têm influência no nível de sinal recebido, atenuando e distorcendo as ondas propagadas. A difração ocorre devido à forma esférica da terra. Da ótica física, é sabido que a difração ocorre quando o obstáculo no caminho das ondas tem dimensões comparáveis com o comprimento de onda. Aqui, o obstáculo a ser considerado é a altura h do segmento esférico, passando através da corda \widehat{TR} que une a origem ao destino (fig. 2.6.3).

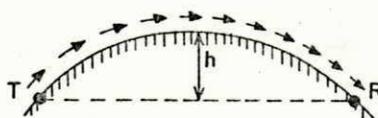


Fig. 2.6.3 - Difração de ondas de rádio ao longo da terra esférica.

É claro que, quanto menor for o comprimento de onda do sinal e, considerando a visada direta obstruída pela curvatura terrestre, menos difratado será o sinal. Portanto a difração é característica de ondas métricas e Kilométricas. A medida que a frequência do sinal aumenta a atenuação cresce rapidamente.

O problema está em que, os campos medidos em distâncias de centenas de Kilômetros do transmissor são muito maiores (na banda de USW acima) do que os esperados pela excitação da teoria de difração. Para ondas eletromagnéticas de frequência superior a 30 MHz, em transmissão além do horizonte, e em distâncias de até 500 Km, predomina o modo de propagação por ESPALHAMENTO TROPOSFÉRICO. A fig. 2.6.4, mostra o fato:

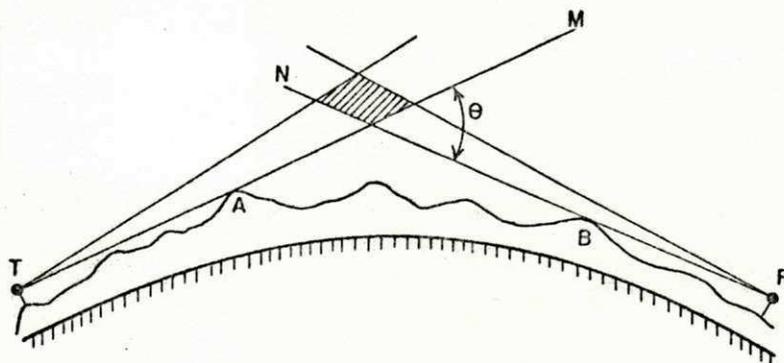


Fig. 2.6.4 - Espalhamento Troposférico.

Os raios TM e RN são tangentes a seus horizontes (pontos A e B) respectivamente. Não existe visada direta. No entanto, todos os pontos acima dos planos TM e RN têm a característica de serem vistos por ambos os extremos do enlace.

Este conjunto de pontos é conhecido como VOLUME DE ESPALHAMENTO. Ele é resultante de não homogeneidades na troposfera resultantes de seu estado meteorológico. As não homogeneidades são mantidas por movimentos de turbulência (ventos que podem apresentar velocidades médias constantes por períodos de tempo, mas que podem apresentar também velocidades instantâneas em pontos particulares do volume que diferem consideravelmente do valor médio). Aparentemente, esta estrutura de redemoinhos na atmosfera turbulenta, está sempre presente na troposfera superior.

Um meio que apresenta um estado de turbulência, é descrito através da existência de estruturas de redemoinhos, segundo suas dimensões, forma e disposição. A permissividade do local onde ocorre, pertencente ao meio turbulento, difere do valor médio da permissividade apresentado pelo meio e o volume de espalhamento, neste mecanismo de transmissão, é composto de grande número de tais redemoinhos. A energia de um feixe de rádio, atravessando tal região, é espalhada, tornando possível que certa porção de energia seja enviada ao receptor. Cada pequeno volume de redemoinhos, apresentando características dielétricas diferentes, ao ser encontrado pela

onda incidente, é excitado e atua como irradiador secundário (fig. 2.6.5).

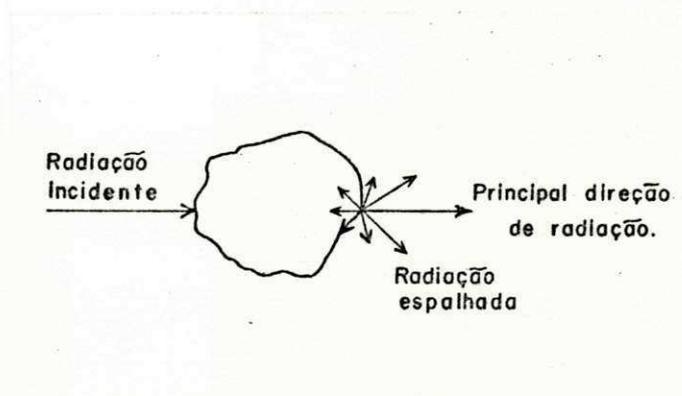


Fig. 2.6.5 - Volume de Turbulência e a Energia Espalhada.

Uma direção principal de radiação espalhada ocorre, e a energia irradiada em outras direções é profundamente menor, quando o ângulo com a direção da onda incidente aumenta.

A soma das, relativamente pequenas, quantidades de energia que são espalhadas no sentido do receptor e oriundas dos diversos pequenos volumes de espalhamento, dá a potência necessária à recepção satisfatória. Já os movimentos relativos, entre os pequenos volumes podem variar a relação de fases de suas contribuições levando à variações rápidas no nível do sinal recebido.

No mecanismo de propagação por espalhamento troposférico, os sinais mais fortes recebidos, são aqueles nos quais as antenas estão dirigidas para o horizonte da rota do "Great Circle".

Quando uma onda de rádio se propaga entre dois pontos na superfície da terra, ela segue um caminho conhecido como "Great Circle". É a projeção do caminho da onda na superfície da terra, ao longo de um arco de círculo, o centro do qual coincide com o centro da terra e que passa através

dos pontos T e R (Fig. 2.6.6).

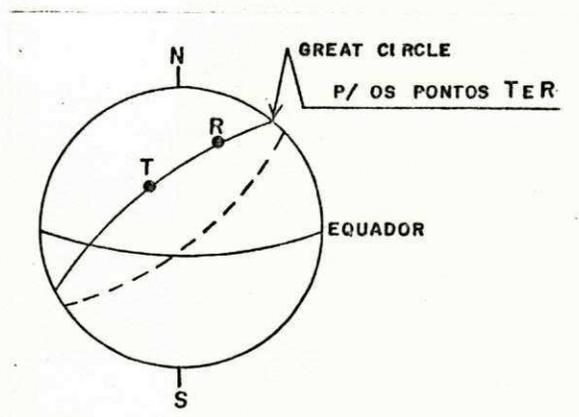


Fig. 2.6.6 - Rota do "Great Circle"

O ângulo θ formado pelos raios do horizonte, oriundos de T e R, é conhecido como Ângulo de Espalhamento. Outros detalhes geométricos, serão vistos no Capítulo III.

A transmissão por espalhamento troposférico, apresenta como característica importante, variações no nível de sinal com o tempo ("fading"). O "fading" rápido é característico do modo de propagação por espalhamento. Ele é interpretado como o efeito de interferência entre ondas que desenvolvem multi-caminhos, ao chegarem ao receptor. Considera-se também, que ele é dependente da velocidade de deslocamento das irregularidades atmosféricas na região de espalhamento. As dimensões da região na Troposfera, associada com a propagação, contribui portanto, para as características do fenômeno.

Em capítulos seguintes, desenvolveremos cálculos referentes aos parâmetros de propagação via espalhamento troposférico.

CAPÍTULO III

MEDIDAS DOS PARÂMETROS DA ANTENA LOG-PERIÓDICA COMERCIAL YVC-19

As medidas de campo efetuadas com antenas outras que o dipolo de $1/2 \lambda$, exigem que sejam feitas com o conhecimento prévio de suas características. Isto se deve ao fato de que, objetivando padronização de resultados, este tipo de medição é realizado com referência à uma antena de parâmetros sobejamente conhecidos, no caso o dipolo.

Em altas frequências, no entanto, e em grandes distâncias, o uso de antenas com características de ganho maiores que o dipolo é recomendado (Ref. Bibliog. 14) pela TASO.

Outro fator foi determinante na escolha da antena para fins de estudo: a antena log-periódica apresenta características de independência de frequência (como foi visto no Cap. II) fato que simplificaria o desenvolvimento dos trabalhos em campo.

Porém, não só fatores técnicos condicionaram a utilização deste tipo de antena. A antena usada foi uma log-periódica dipolo, YVC-19, comercial, de uso difundido nos receptores de TV caseiros, na cidade, devido ao seu relativo baixo custo, quando comparado com outros modelos que apresentam alto grau de sofisticação quanto ao projeto e construção.

Desta forma, este capítulo, será dedicado à descrição e relato dos resultados do levantamento dos parâmetros básicos da antena (impedância, diretividade e ganho), dados que não chegam às mãos do comprador ou interessado que a utilize.

3.1 - Caracteres Estruturais da Antena

A antena YVC-19 é uma antena log-periódica comercial, utilizada para recepção de sinais de estações de TV. Possui um comprimento de 275 cm e 19 elementos, dos quais 10 são excitados, suportados por um vergalhão de alumínio. As Figuras 3.1.1 e 3.1.2, mostram os detalhes mecânicos da antena.

Delas, pode ser visto que o ângulo α é da ordem de 17° e que o fator de escala utilizado foi de $\tau = 0,89$. Os elementos parasitas estão situados entre os dipolos excitados e todos os elementos, excitados ou não, são tubos de alumínio de diâmetro $d = 0,95$ cm.

3.2 - Medida do VSWR

A ocorrência de descasamento de impedância entre a antena e o transmissor, leva ao aparecimento de potência refletida e conseqüentemente perdas.

É desejável que a antena apresente um baixo VSWR na banda de frequências de trabalho, valores os mais próximos de 1 possíveis.

Para a obtenção do VSWR, utilizou-se o Registrador Vetorial VSR-3, acoplado com um Registrador HP-Moseley 7035 AM. Sobre a Carta de Smith, foram registrados valores de impedância para as frequências de 60, 90, 127, 170 e 255 MHz. Os resultados estão indicados na tabela 3.2.1.

Frequência (MHz)	VSWR
60	2,0
90	2,8
127	2,0
170	1,25
255	1,15

Tabela 3.2.1 - VSWR para a Antena YVC-19

n	p _n	h _n
0	82	10
1	78	10
2	74	10
3	72	9
4	68	9
5	64	9
6	62	8
7	58	8
8	58	7,5

UNIDADE= cm

1: 20

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
 Pro-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321-7222-R 355
 58.100 - (campus Grande - Paraíba)

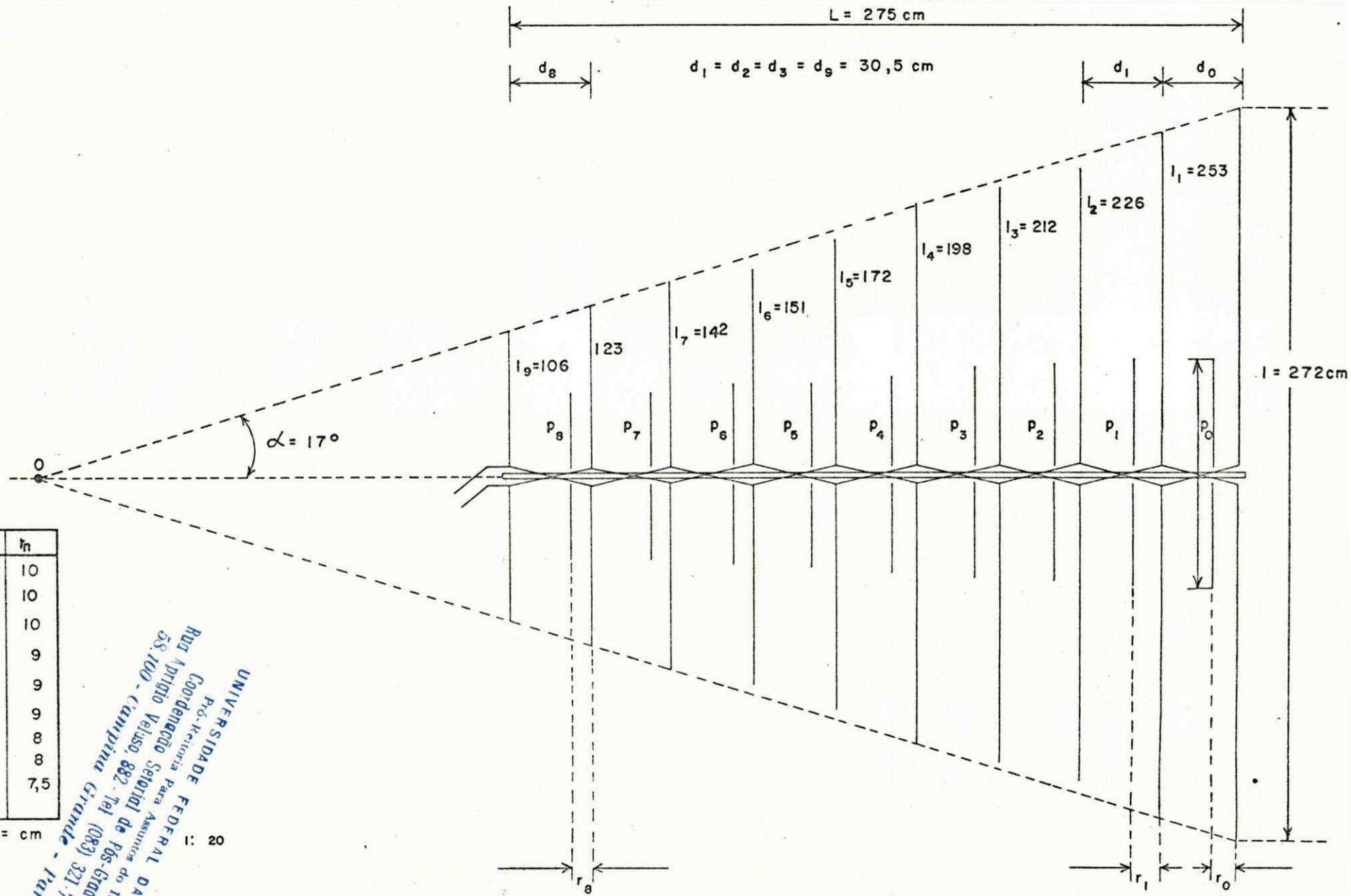


Fig. 3.1.1 - Detalhes de Construção da Antena YVC-19

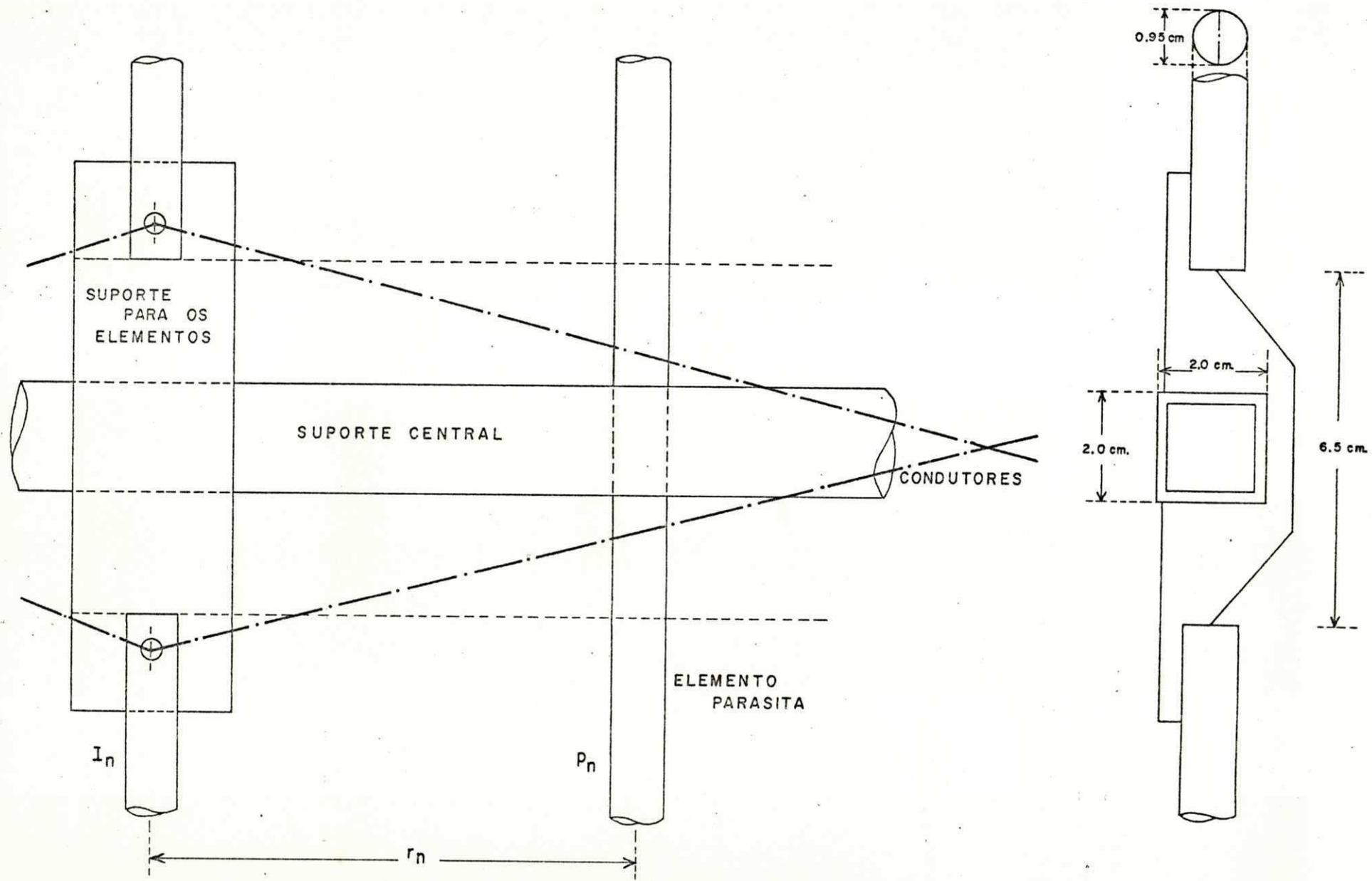


Fig. 3.1.2 - Detalhes de Construção da Antena Y VC-19

No Anexo V, encontram-se as cartas de Smith com os resultados das medições.

Outra característica que é preciso ser determinada, é a correção do VSWR em função da atenuação do cabo. Para a obtenção dos diagramas de Irradiação (parágrafo 3.3), utilizou-se um cabo coaxial com 12 metros, interligando-se a antena ao gerador. Este cabo, introduz uma atenuação adicional nas frequências de trabalho, que modifica o valor do VSWR porque os valores da potência refletida são atenuados. A atenuação introduzida pelo cabo, é também função da frequência de trabalho.

Para a realização desta medição, interligou-se a saída do gerador de sinais (Gerador AM-FM Video TR-0601-B) com a entrada do receptor (Microvoltímetro Seletivo SMV-2) através de um cabo com 1 metro de comprimento, e ajustou-se o nível de sinal na entrada do receptor para 1 mV. Em seguida, retirou-se o cabo de 1 m, e ele foi substituído pelo de 12 metros, alimentador da antena. As frequências do gerador foram variadas para as indicadas na tabela 3.2.1.

O VSWR em função da atenuação do cabo, pode ser então obtido a partir da Fig. 3.2.1 que é um ábaco retirado do manual da Marconi Instruments LTD, e que dá o VSWR resultante da existência de atenuação. É obtida então a tabela 3.2.2.

Frequência (MHz)	VSWR Medido	Atenuação Total no Cabo (dB)	VSWR Real
60	2,0	0,50	2,2
90	2,8	0,70	3,5
127	2,0	0,82	2,4
170	1,2	1,06	1,2
255	1,1	1,24	1,2

Tabela 3.2.2 - Correção para o VSWR

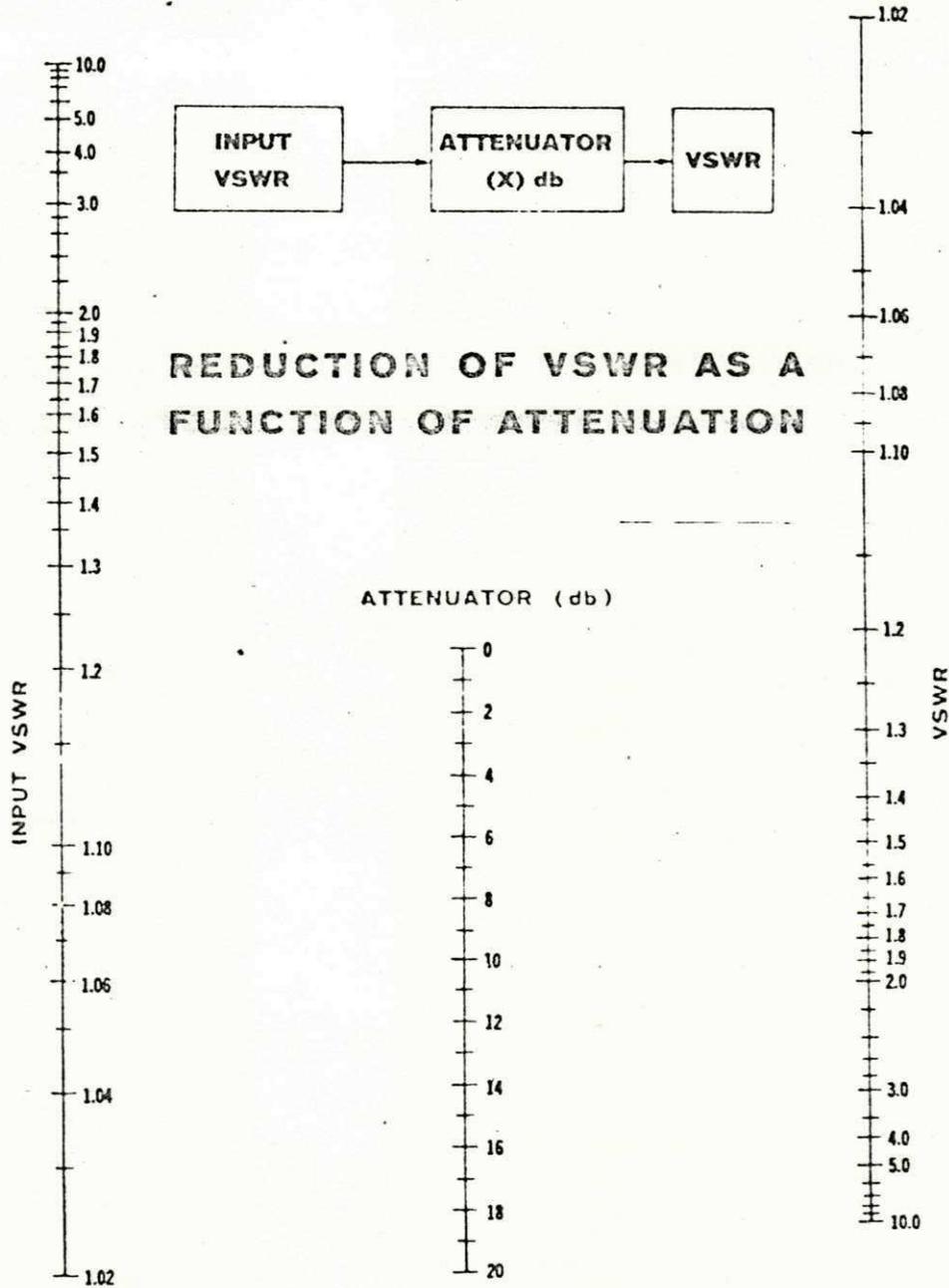


Fig. 3.2.1 - The Input V.S.W.R. resulting from the insertion of attenuation is found by laying a straight-edge from the original V.S.W.R. to the attenuator value and reading-off on the left-hand scale.

É preciso se determinar a quantidade de potência refletida, em função da frequência. Sabe-se que, a relação entre os valores rms das tensões incidente e refletida, pode ser expressa por

$$\frac{V_r}{V_i} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação (3.2.1)
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321 7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

Além disto, a relação entre a potência entregue a carga sobre a potência da onda incidente, vale,

$$\frac{(V_i^2 - V_r^2)/Z_0}{V_i^2/Z_0} = 1 - \frac{V_r^2}{V_i^2} \quad (3.2.2)$$

Onde Z_0 é a impedância característica da linha.

A equação 3.2.2 pode então ser reescrita como

$$\frac{P_{load}}{P_{incid.}} = 1 - \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}^2 = \frac{4 VSWR}{(1 + VSWR)^2} \quad (3.2.3)$$

O resultado acima, subtraído de 1, dá a proporção de potência incidente que é refletida:

$$\frac{P_l}{P_i} - 1 = \frac{P_l - P_i}{P_i} = \frac{4 VSWR}{(VSWR + 1)^2} - 1$$

Desta forma podemos elaborar a tabela 3.2.3, que nos oferece os resultados a seguir:

Frequência (MHz)	VSWR Real	Proporção de Potência na Carga (%)	Proporção de Potência Refletida (%)
255	1,2	99,17	0,82
170	1,3	98,29	1,71
60	2,2	85,93	14,07
127	2,4	83,00	17,00
90	3,5	69,13	30,87

Tabela 3.2.3 - Percentagem de Potência em Função das Frequências.

O gráfico da Fig. 3.2.2, mostra a porcentagem de potência refletida e transmitida à carga a partir do VSWR real, em função da frequência.

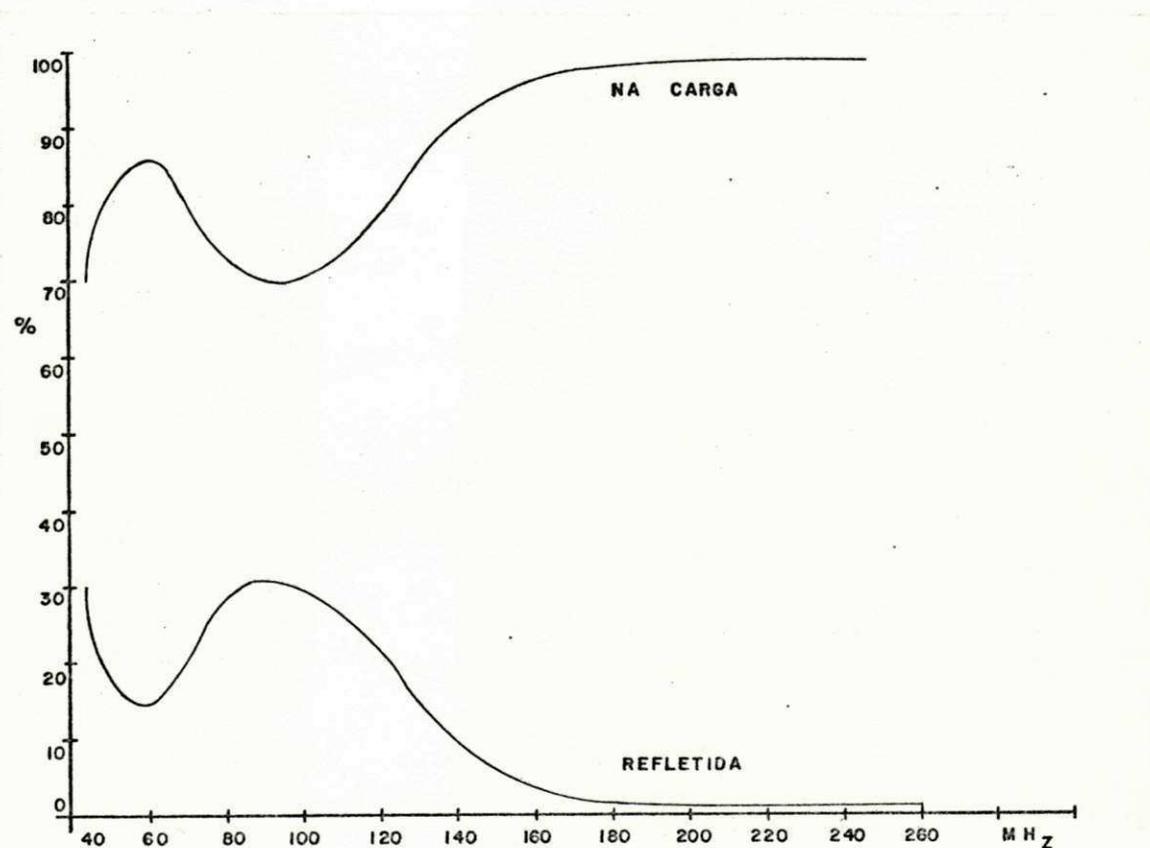


Fig. 3.2.2 - Percentagem de Potência x Frequência

A terceira coluna da Tabela 3.2.3, é o Fator de Eficiência da antena (k). Vale ressaltar que negligenciamos as perdas oriundas da resistência ôhmica da antena. Para que outros parâmetros da antena sejam obtidos, torna-se necessário que sejam relacionados os valores de k para todas as frequências que incluem a banda de TV (50 MHz - 213 MHz). Isto é apresentado na Tabela 3.2.4.

Frequência (MHz)	k	Frequência (MHz)	k
57	0,845	183	0,982
63	0,855	189	0,985
69	0,740	195	0,987
79	0,730	199	0,990
85	0,710	207	0,990
177	0,980	213	0,990

Tabela 3.2.4 - Valores de k Versus Frequência.

3.3 - Levantamento dos Diagramas de Irradiação

Inicialmente, precisamos estabelecer o tipo de diagrama que o trabalho exige. É de interesse, conseguirmos mapas que nos dêem a distribuição espacial de energia irradiada. Para isto, as medições têm de ser efetuadas na região de campos distantes. O limite entre esta última, e a região de campos próximos é aceita como sendo em torno de (Ver Ref. Bibliog. 10)

$$R = \frac{4,5 D^2}{\lambda} \quad (3.3.1)$$

Onde D = maior dimensão da antena

λ = comprimento de onda da frequência de trabalho

Precisamos assim, estipular a distância mínima de trabalho, que nos garante situar dentro da região de campos distantes. A frequência, da banda de TV, que apresenta menor comprimento de onda, é portanto, maior valor para R, corresponde a $f = 213$ MHz, frequência central do canal 13. Para ela, teremos,

$$R = \frac{4,5 \times (2,72)^2}{1,40} \approx 23,78 \text{ m} \quad (3.3.1-a)$$

Devemos, portanto, nos situar a distâncias superiores à acha da para garantirmos os diagramas para o campo irradiado.

Antes de prosseguirmos na descrição das medições, é necessário que se faça uma referência acêrca da maneira de se efetuar as medições de campo, para fins de levantamento de diagramas de irradiação.

Uma antena é um irradiador de energia eletromagnética, que é jogada ao espaço, obedecendo a um diagrama de irradiação. A descrição deste diagrama, que é tridimensional, é difícil de ser realizada em um único plano. São escolhidos então, dois planos, conhecidos como PLANOS PRINCIPAIS (que levam à diagramas bidimensionais), os quais são chamados de E e H.

Trabalhando com polarização horizontal, são efetuadas medidas para E_{ϕ} (componente do campo elétrico na direção ϕ), segundo as figuras 3.3.1 e 3.3.2.

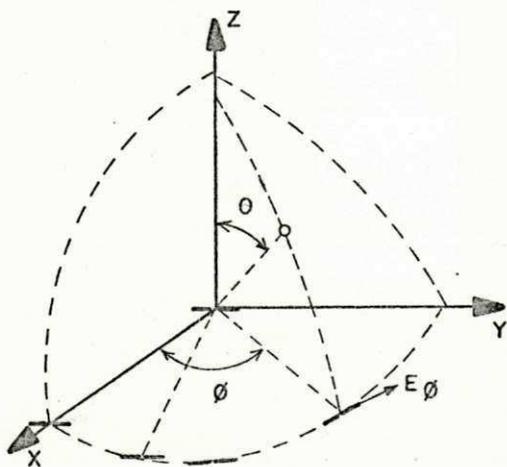


Fig. 3.3.1 - Obtenção do E_{ϕ} ($\theta = 90^{\circ}$, ϕ) (Plano H)

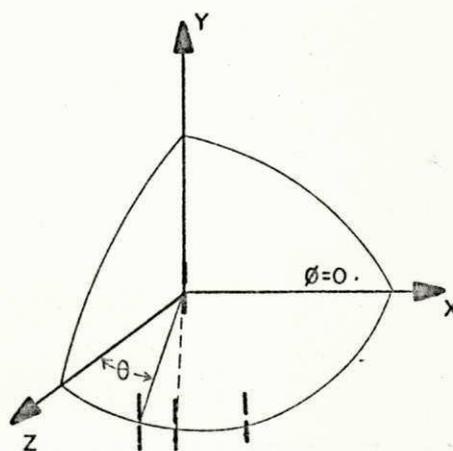


Fig. 3.3.2 - Obtenção do E_{ϕ} (θ , $\phi = 0$) (Plano E)

Para o levantamento dos diagramas de irradiação da antena YVC-19, foi utilizada a montagem da figura 3.3.3.

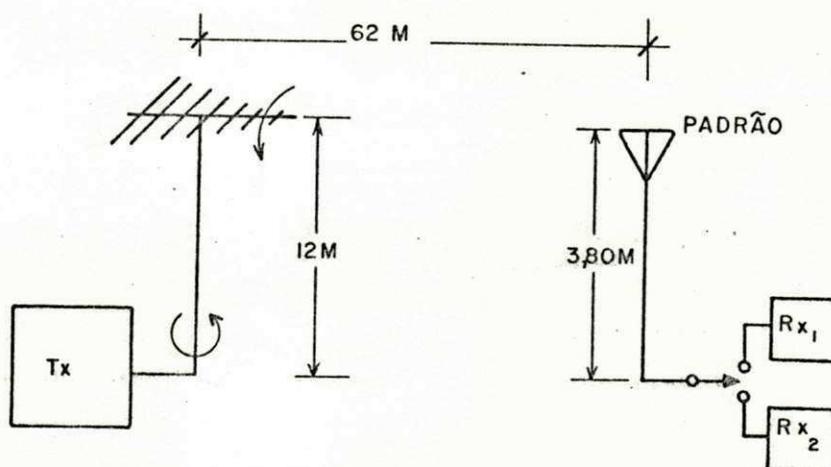


Fig. 3.3.3 - Obtenção dos Diagramas de Irradiação da Antena YVC-19

Como pode ser visto, a distância entre as antenas transmissora e receptora é maior do que o R mínimo estipulado na equação 3.3.1-a. A antena em teste foi rotacionada em intervalos de 10° em ambos os planos principais de medição, o E e o H.

São as seguintes as especificações do equipamento utilizado:

- Gerador de Sinais de Video Frequência e de Sinais Modulados em AM e FM; Tipo TR-0601-13 FME. Faixa de Frequências de 4 MHz - 250 MHz.
- Microvoltímetro Seletivo SMV2 - Faixa de 27 MHz - 110 MHz.
- Microvoltímetro Seletivo SMV3 - Faixa de 87 MHz - 300 MHz.
- Antena Log-Periódica YVC-19 (Transmissora).
- Antenas (Bicônica): FMA2 e FMA3.

Os dados obtidos, foram relacionados, segundo o mapa da figura 3.3.4.

FREQUÊNCIA 57 MHz			
PLANO E		PLANO H	
Posição (°)	μV/m	Posição (°)	μV/m
0	280	0	800
10	250	10	200
20	260	20	100
30	230	30	100
40	200	40	200

Fig. 3.3.4 - Mapa para Registro da Intensidade de Campo no Levantamento de Diagramas de Irradiação.

No registro nos diagramas polares, obedeceu-se a relação,

$$\text{Nível} = \frac{E_{\text{medido}}}{E_{\text{máximo}}} \quad (3.3.2)$$

que define o tipo conhecido como Diagrama Absoluto.

Os diagramas de irradiação estão disponíveis nas figuras 3.3.5 e 3.3.6, onde são apresentados para os planos E e H respectivamente, nos diversos canais de TV.

3.4 - Ganho da Antena

Da teoria de antenas, o Ganho e a Diretividade, podem ser relacionados através da expressão (Ver Ref. Bibliográfica 10),

$$G = kD \quad (3.4.1)$$

Onde k é o fator de eficiência da antena, que é um parâmetro que relaciona a potência irradiada e a potência nos seus ter

minais, estando compreendido no intervalo fechado $\{0, 1\}$. Os casos onde G e D se confundem, são aqueles nos quais a eficiência é 100% ($k = 1$), quando toda a potência que chega aos terminais da antena é irradiada e não ocorre reflexões de potência. Normalmente não se consegue $k = 1$, visto que a eficiência de 100% dificilmente é obtida.

No parágrafo 3.2, o valor de k foi levantado para as frequências de interesse (tabela 3.2.4), e vemos que o k variou no intervalo $0,71 - 0,99$.

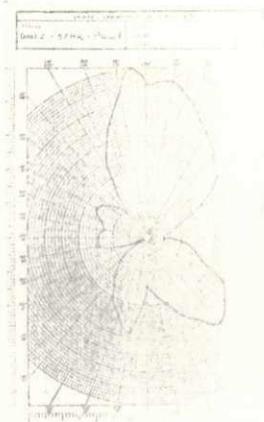
Para que o ganho seja obtido, resta encontrar a diretividade da antena para os canais de interesse. O cálculo da diretividade da antena exige a anterior obtenção dos diagramas de irradiação nos dois planos principais, E e H . Isto porque, nas expressões utilizadas, parâmetros como ângulos de feixe nos dois planos ou mesmo, relações de áreas dos diagramas, são exigidos.

De forma geral, dois tipos de diagramas de irradiação podem resultar das medições:

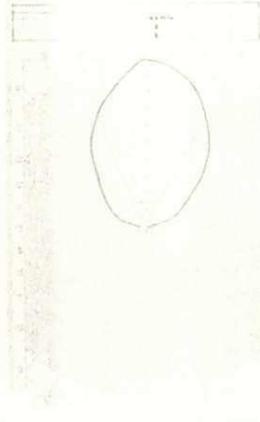
- Diagramas onde existe a predominância do lobo principal de radiação, podendo-se neste caso, negligenciar-se o efeito dos lobos laterais e traçeiros.
- Diagramas onde os lobos principal e secundário, aparecem em níveis equivalentes e onde a influência dos últimos deve ser levada em consideração.

Como é visível nas figuras 3.3.5 e 3.3.6, os diagramas de irradiação em frequências correspondentes aos canais 2, 5, 7, 8, 9, 11, 12 e 13, apresentam lobos laterais e traçeiros em níveis relevantes, comparados ao nível do lobo principal. Os demais canais (3, 4, 6 e 10) apresentam diagramas satisfatórios onde a potência é irradiada apenas na direção de máxima radiação.

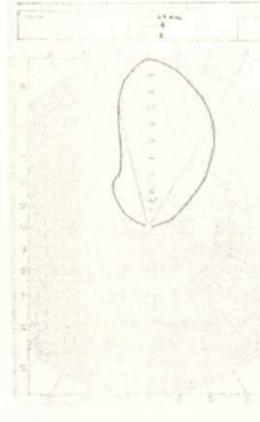
DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO - PLANO E



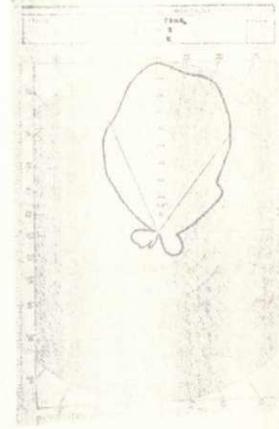
canal 2-57 MHz



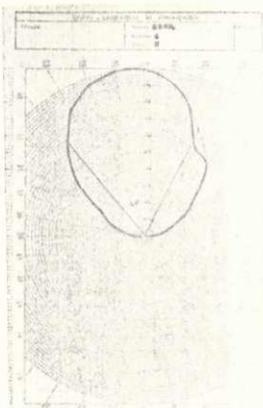
canal 3-63 MHz



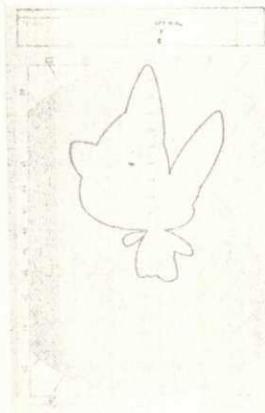
canal 4-69 MHz



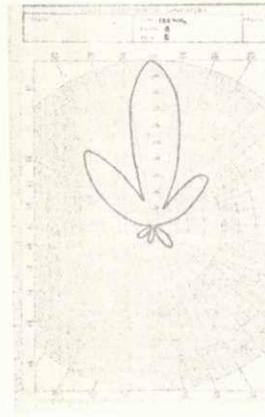
canal 5-79 MHz



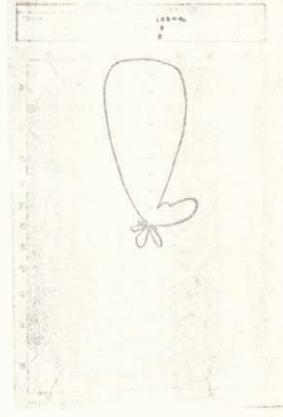
canal 6-85 MHz



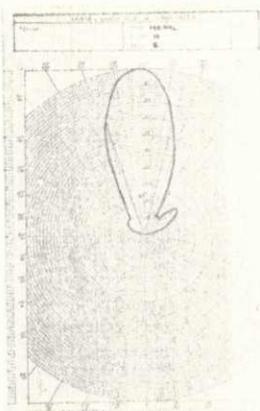
canal 7-177 MHz



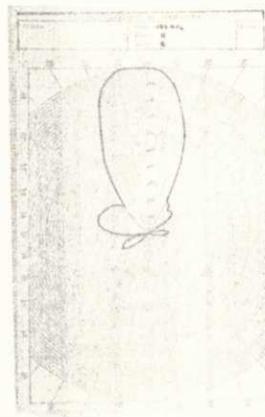
canal 8-183 MHz



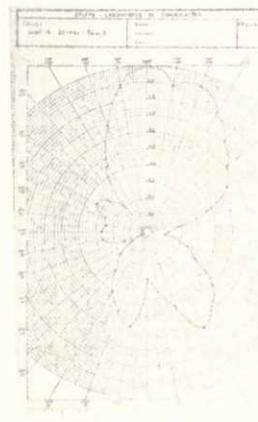
canal 9-189 MHz



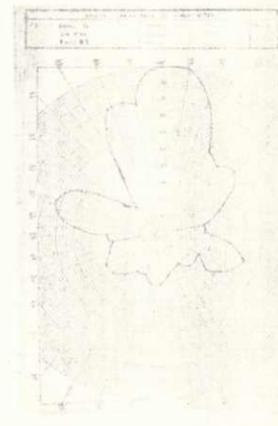
canal 10-195 MHz



canal 11-199 MHz



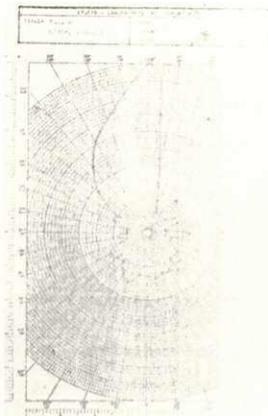
canal 12-207 MHz



canal 13-213 MHz

Fig. 3.3.5

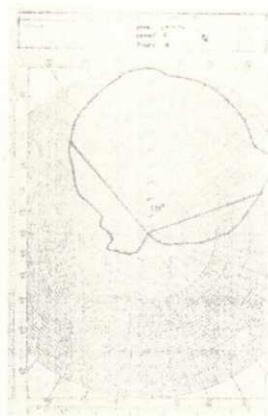
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel. (083) 321-7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba



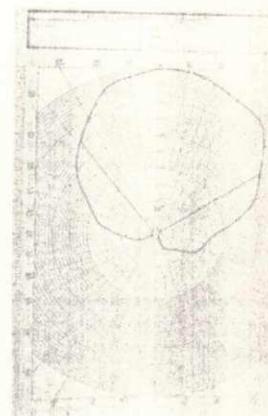
canal 2- 57 MHz



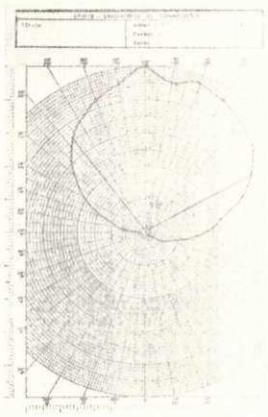
canal 3- 63 MHz



canal 4- 69 MHz



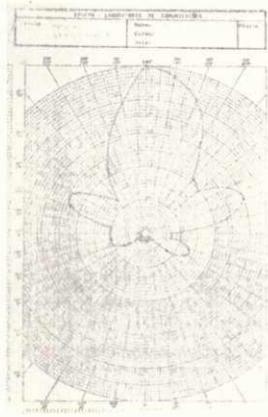
canal 5- 79 MHz



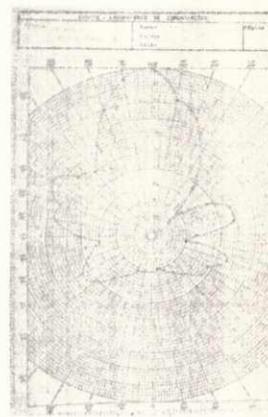
canal 6- 85 MHz



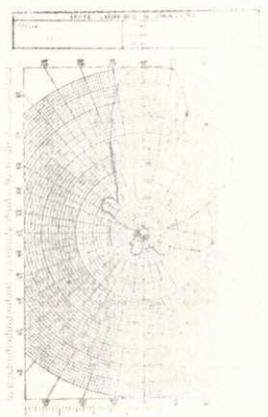
canal 7- 177 MHz



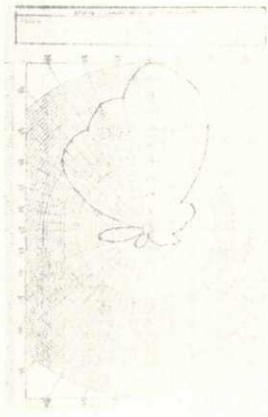
canal 8- 183 MHz



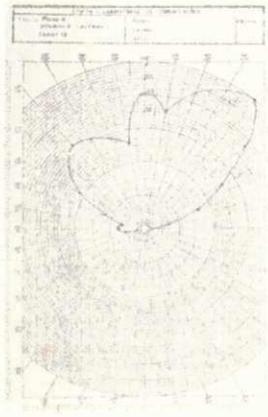
canal 9- 189 MHz



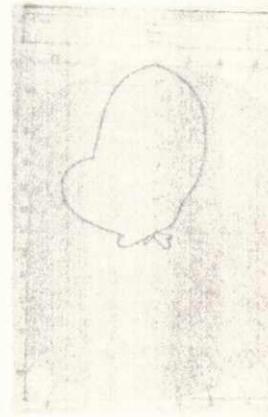
canal 10- 195 MHz



canal 11- 199 MHz



canal 12- 207 MHz



canal 13- 213 MHz

Fig. 3.3.6

A diretividade de uma antena é definida (Ver Ref. Bibliográfica 10 e Apêndice VI), como

$$D = \frac{41.253}{\alpha_{\theta} \alpha_{\phi}} \quad (3.4.2)$$

Onde

α_{θ} = ângulo de feixe no plano E

α_{ϕ} = ângulo de feixe no plano H

Esta expressão pode ser utilizada para o cálculo da diretividade para um diagrama com um único lobo. Diagramas que apresentam lobos outros que não o principal, terão a diretividade reduzida caso comparássemos com a diretividade para um diagrama monolobular, visto que a mesma potência passa a ser irradiada em direções outras que a principal. O fator que dá a redução da diretividade nestes casos é função das áreas dos lobos secundários e trazeiros nos dois planos e a expressão para a diretividade fica (Ver Ref. Bibliográfica 11):

$$D = D_{lp} \times f$$

$$D = D_{lp} \frac{\Delta l_{pE} + \Delta l_{pH}}{\Delta l_{pE} + \Delta l_{pH} + \Delta l_{tE} + \Delta l_{tH} + 2(\Sigma \Delta l_s)} \quad (3.4.3)$$

Onde D_{lp} é dada por 3.4.2 e

Δl_{pE} = área do lobo principal do plano E

Δl_{pH} = área do lobo principal do plano H

Δl_{tE} = área do lobo trazeiro do plano E

Δl_{tH} = área do lobo trazeiro do plano H

Δl_s = área de cada lobo secundário.

Os valores destes parâmetros, são obtidos através da utilização de um planímetro sobre os diagramas de interesse.

Os resultados foram levados a um mapa igual ao mostrado na Fig. 3.4.1, que se encontra no Apêndice VI.

	Frequência (MHz)	Δl_{pE}	Δl_{pH}	Δl_{tE}	Δl_{tH}	Δl_s		f
						E	H	
1ª Medição →	57 Canal 2							
2ª Medição →								
3ª Medição →								
Média →								

Fig. 3.4.1 - Mapa para registro das áreas dos lobos dos diagramas. Cada área foi avaliada três vezes, e o resultado utilizado foi a média aritmética das medições.

A tabela 3.4.1, mostra os valores α_θ , α_ϕ e D_{lp} , para todas as frequências da banda de TV:

Frequência (MHz)	α_θ	α_ϕ	D_{lp}	Frequência (MHz)	α_θ	α_ϕ	D_{lp}
57	47	26	33,75	183	24	43	39,9
63	52	102	7,77	189	38	48	39,9
69	46	110	8,1	195	32	64	20,14
79	59	98	7,13	199	41	60	16,76
85	63	98	6,68	207	59	42	16,64
177	22	23	81,52	213	52	50	15,86

Tabela 3.4.1 - Valores de α_ϕ , α_θ e D_{lp} para Frequências na Banda de TV.

A partir dos valores de D_{lp} da tabela 3.4.1 e de f do Apêndice VII, obtêm-se o valor para a diretividade da antena para todas as frequências da banda de TV.

A tabela 3.4.2 apresenta os resultados:

Frequência MHz	D	D_{dB}
57	15,62	11,93
63	7,77	8,90
69	8,10	9,08
79	6,41	8,07
85	6,68	8,24
177	22,00	13,42
183	27,90	14,46
189	22,60	13,54
195	20,14	13,04
199	13,57	11,32
207	13,47	11,29
213	10,94	10,39

Tabela 3.4.2 - Diretividade para a Antena YVC-19

O ganho pode agora ser obtido através da equação 3.4.1 e dos valores de k dados na tabela 3.2.4.

Os resultados são expostos na tabela 3.4.3:

<i>Frequência</i> MHz	<i>G</i>	<i>G_{dB}</i>
57	13,2	11,2
63	6,6	8,2
69	5,9	7,7
79	4,6	6,7
85	4,7	6,7
177	21,5	13,3
183	27,4	14,3
189	22,2	13,4
195	19,8	12,9
199	13,4	11,2
207	13,3	11,2
213	10,8	10,3

Tabela 3.4.3 - Ganho para a Antena YVC-19

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DOS ASPECTOS RELATIVOS AO MODO PREDOMINANTE DE PROPAGAÇÃO

A distância entre Recife e Campina Grande é de aproximadamente 168 Km. Uma distância grande e que exige a consideração da curvatura terrestre, nos estudos acerca da propagação do sinal entre dois pontos.

Um estudo acerca das características topográficas do caminho é necessário visto que não se pode supor a terra polida, tendo-se em vista a existência de irregularidades do terreno, como montanhas, depressões, etc.

Como foi visto no Capítulo II, o efeito das montanhas sobre a propagação de ondas é que elas, salientando-se dentro da região onde as ondas são propagadas, as atenuam, reduzindo o nível do sinal recebido.

4.1 - Levantamento dos Perfis do Enlace Recife-C. Grande

A importância fundamental deste levantamento é verificar a possibilidade de recepção do sinal nas frequências de 199 MHz (Canal 11) e 213 MHz (Canal 13) via linha de visada. A condição para tal, é que ocorra desobstrução da 1^a Zona de Fresnel, ao longo do caminho de propagação.

Tem-se ainda que estimar a refração que a onda sofrerá na troposfera devido ao gradiente de refatividade com a altura. Para isto, utilizar-se-á o fator raio efetivo da terra (K) (Veja Capítulo II), na elaboração do perfil.

Para se levantar o perfil do caminho, desenha-se em escala a distância entre os dois pontos desejados e, a obtenção do bojo terrestre é feita calculando-se a altura h ao longo de todo o caminho (Fig. 4.1.1).

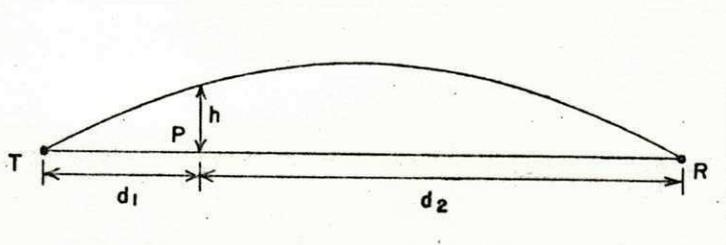


Fig. 4.1.1 - Bojo Terrestre entre os Pontos T e R

Onde

d_1 = distância entre os pontos T e P

d_2 = distância entre P e R

h = altura do bojo terrestre

As alturas h podem ser determinadas a partir da equação

$$h_m = \frac{d_{1Km} d_{2Km}}{2K R_{Km}} \times 10^3$$

K = fator raio efetivo da terra

R = raio real da terra (6.370 Km)

Pode-se observar que, dependendo do efeito de refração sobre a onda que se propaga, o bojo será mais acentuado ou não, correspondendo a uma terra efetiva maior ou menor que a real.

As alturas das montanhas obtidas a partir de uma carta topográfica, serão contadas então, a partir do bojo obtido.

É normal iniciar-se tal estudo, levantando-se o perfil do caminho, considerando-se condições de refração padrão, isto é, $K = 4/3$. Desta maneira, a equação anterior reduz-se a

$$h = \frac{d_{1Km} d_{2Km}}{17} \quad (4.1.2)$$

Este levantamento está apresentado na Fig. 4.1.2 que segue, com as informações sobre as principais elevações ao longo do caminho. Estes detalhes podem também ser analisados nos Apêndices I e II, no fim deste trabalho.

As escalas utilizadas foram:

- Abscissas (distâncias) - 1:500.000
- Ordenadas (alturas) - 1: 10.000

É possível notar na figura 4.1.2, que não se dispõe de linha de visão ou caminho desobstruído entre os pontos extremos.

No entanto, a consideração de atmosfera padrão, pode não corresponder à realidade das condições de refração de do trajeto.

Um estudo efetuado pelo CETUC e editado na Revista de Tecnologia Brasileira (Ver Ref. Bibliográfica 14), fornecendo dados acerca das regiões radioclimáticas do Brasil, baseado no comportamento do índice de refração na superfície, mostra os valores máximos e mínimos de K obtidos. Para o Nordeste, a estação ficou situada em Natal-RN e os valores para K encontrados, foram,

$$K_{\text{médio}} = 1,689$$

$$K_{\text{mínimo}} = 0,694$$

A partir de considerações sobre atmosfera padrão, teremos um $K = 1,33$, que difere dos valores acima. Portanto, deve-se verificar se, com os valores de K para a região, a desobstrução do caminho é obtida.

Em lugar de levarmos em conta estes valores específicos, consideramos dois casos mais extremos, a saber, $K = 2/3$ e $K = \infty$, que incluem no intervalo, os valores de K característicos.

Estes levantamentos, estão expostos nas figuras 4.1.3 e 4.1.4 e os respectivos dados no Apêndice I. É bom lembrar que as alturas dos acidentes topográficos, serão lançados, para $K = \infty$, sobre a terra plana, conforme visto no Capítulo II.

Da observação dos perfis obtidos, podemos fazer duas referências:

- 1) A visada direta não é conseguida para $K = 2/3$
- 2) Existe uma possibilidade da ocorrência de linha de visão para o caso de $K = \infty$. No entanto, é necessário verificar se a 1ª Zona de Fresnel está desobstruída para o trajeto.

4.2 - Cálculo dos Raios da 1ª Zona de Fresnel

Da observação da Fig. 4.1.4, que dá o perfil entre as duas cidades levando em conta $K = \infty$, podemos destacar três elevações montanhosas significativas:

- I) A uma distância de 16,25 Km de Recife, com altura de 109 m
- II) A uma distância de 40 Km de Recife, com altura de 130 m
- III) A uma distância de 103,6 Km de Recife, com altura de 410 m.

Estas três elevações, superam as demais em altitude e por isto é preciso verificar o estado de desobstrução do enlace. Em outras palavras, devemos ter desobstrução do caminho sobre os pontos I, II e III, de tal forma que, a distância acima destes montes, não seja menor que o raio da 1ª Zona de Fresnel.

Como este trabalho considera os canais de televisão operando nas frequências de 199 MHz (Canal 11 - TV União)

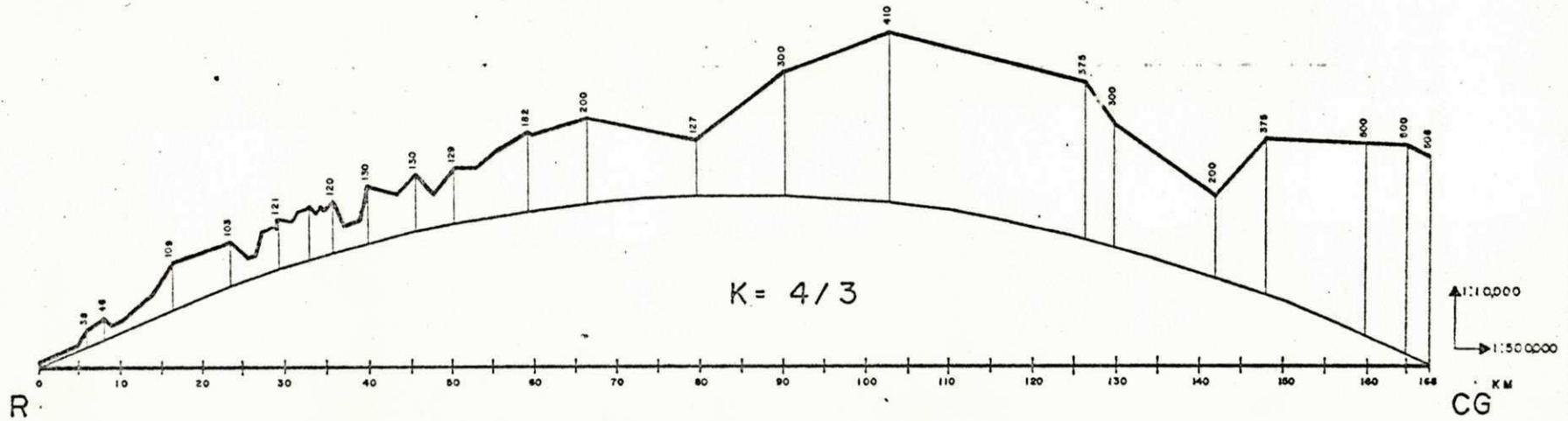


Fig. 4.1.2 - Perfil Recife-Campina Grande ($K=4/3$)

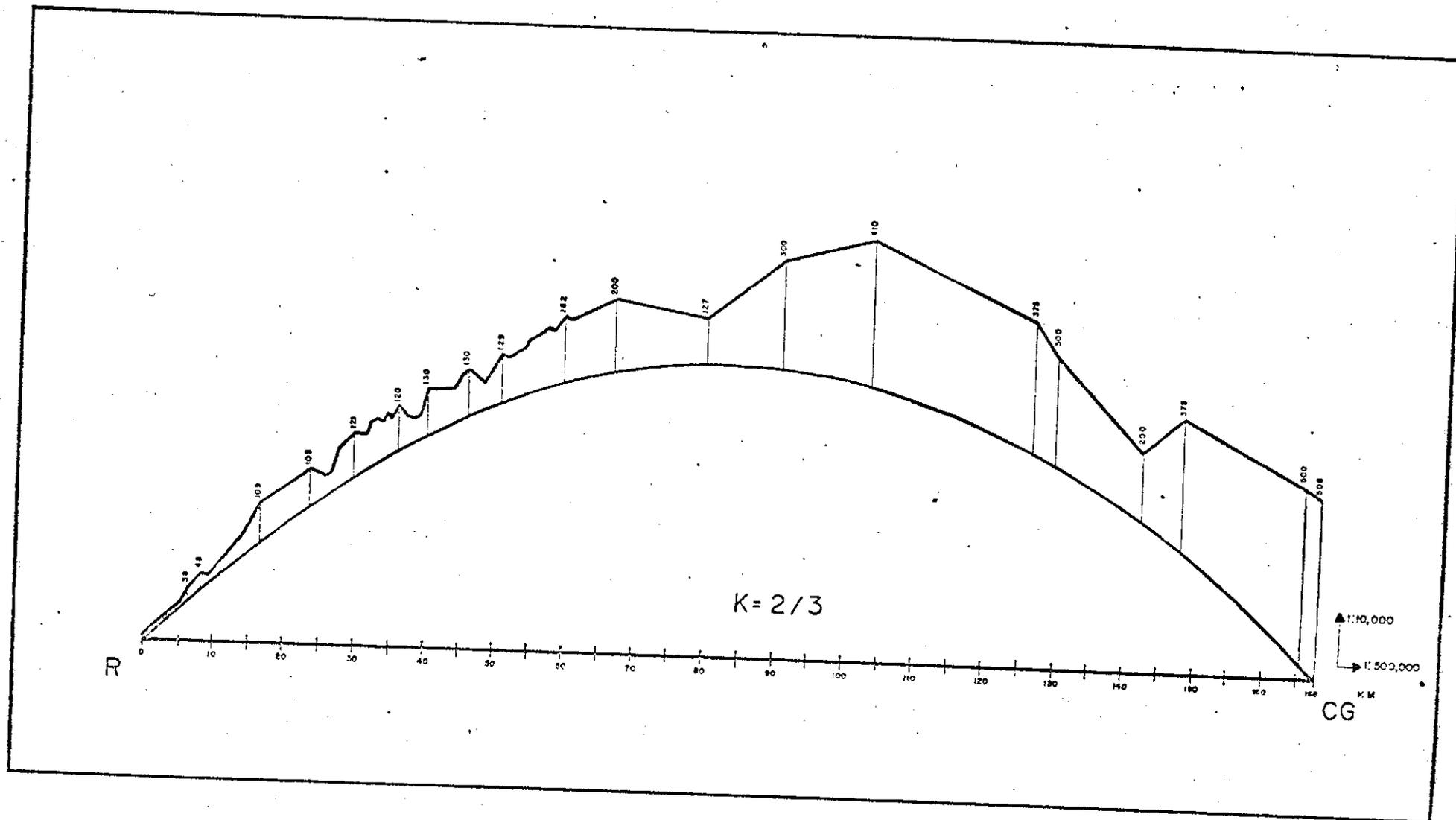
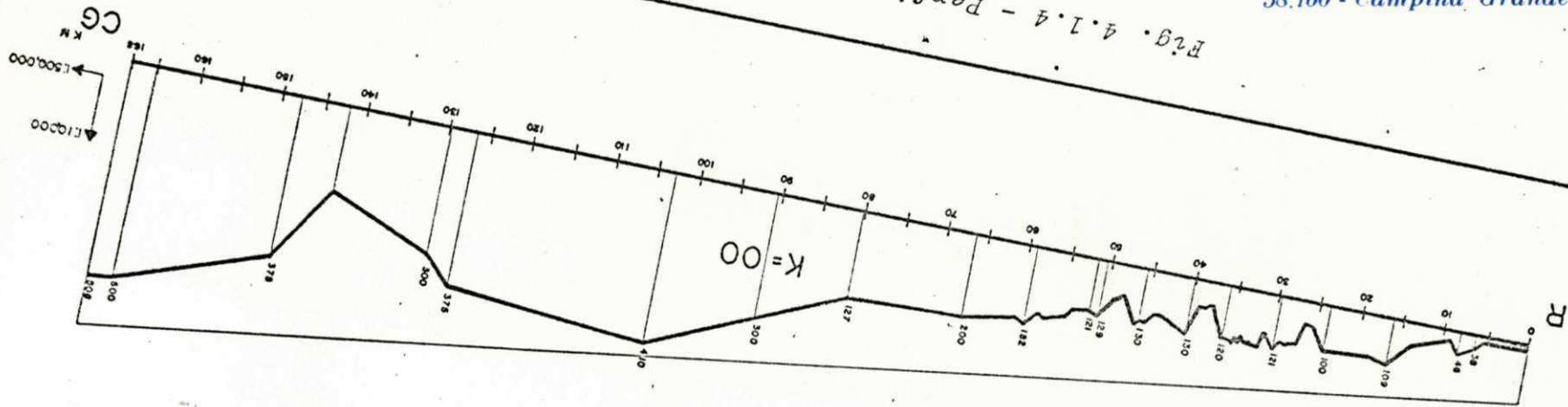


Fig. 4.1.3 - Perfil Recife-Campina Grande ($K = 2/3$)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321 7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

Fig. 4.1.4 - Perfil, Recife-Campina Grande ($K=\infty$)



versitária) e 213 MHz (Canal 13 - TV Globo), os raios para as Zonas de Fresnel devem ser calculados, para cada uma das frequências.

Podemos então ordenar os dados relativos às elevações:

$$l_1 = 16,25 \times 10^3 \text{ m}$$

$$l_2 = 23,75 \times 10^3 \text{ m}$$

$$l_3 = 63,60 \times 10^3 \text{ m}$$

$$l_4 = 64,40 \times 10^3 \text{ m}$$

Considerou-se que, a altura da antena receptora em Campina Grande, foi suposta de 10 m acima da região de maior altitude do lugar (600 metros). Os cálculos dos raios da 1ª Zona de Fresnel são realizados a seguir:

$$b_I = \sqrt{\frac{l_1(l_2 + l_3 + l_4)}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}} \lambda = 148 \text{ m}$$

$$b_{II} = \sqrt{\frac{(l_1 + l_2)(l_3 + l_4)}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}} \lambda = 213,8 \text{ m}$$

$$b_{III} = \sqrt{\frac{(l_1 + l_2 + l_3)l_4}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}} \lambda = 244 \text{ m}$$

Isto para a frequência de 199 MHz. Para a frequência de 213 MHz, obtemos:

$$b_I = 143 \text{ m}$$

$$b_{II} = 200 \text{ m}$$

$$b_{III} = 234 \text{ m}$$

A observação do perfil correspondente, mostra que nenhum destes requisitos é cumprido. Realmente, considerando a frequência de 213 MHz, as distâncias livres no perfil são de aproximadamente:

$$b'_I = 65 \text{ m}$$

$$b'_{II} = 115 \text{ m}$$

$$b'_{III} = 30 \text{ m}$$

Chegamos à conclusão, portanto, que ocorre total obstrução do caminho Recife-Campina Grande, mesmo considerando os casos extremos de $K = 2/3$ e $K = \infty$ (Fig. 4.2.1).

Assim, um outro mecanismo de propagação do sinal deve prevalecer no trajeto, para explicar a recepção dos sinais de TV na Região de Campina Grande. Este assunto será tratado no próximo parágrafo.

4.3 - O "Range" de Linha de Visão e a Determinação do Modo Predominante de Propagação

Os perfis mostraram a impossibilidade da transmissão pelo modo de linha de visão. Este fato pode ser confirmado pelo cálculo da distância do horizonte, isto é, a distância máxima na qual as antenas se veriam mutuamente.

Como foi visto no Capítulo II-2.3, a "Zona Iluminada" que é a região ao longo do caminho que proporcionaria comunicação por visada direta, está limitada a uma distância tal que,

$$r < 0,8 r_0 \quad (4.3.1)$$

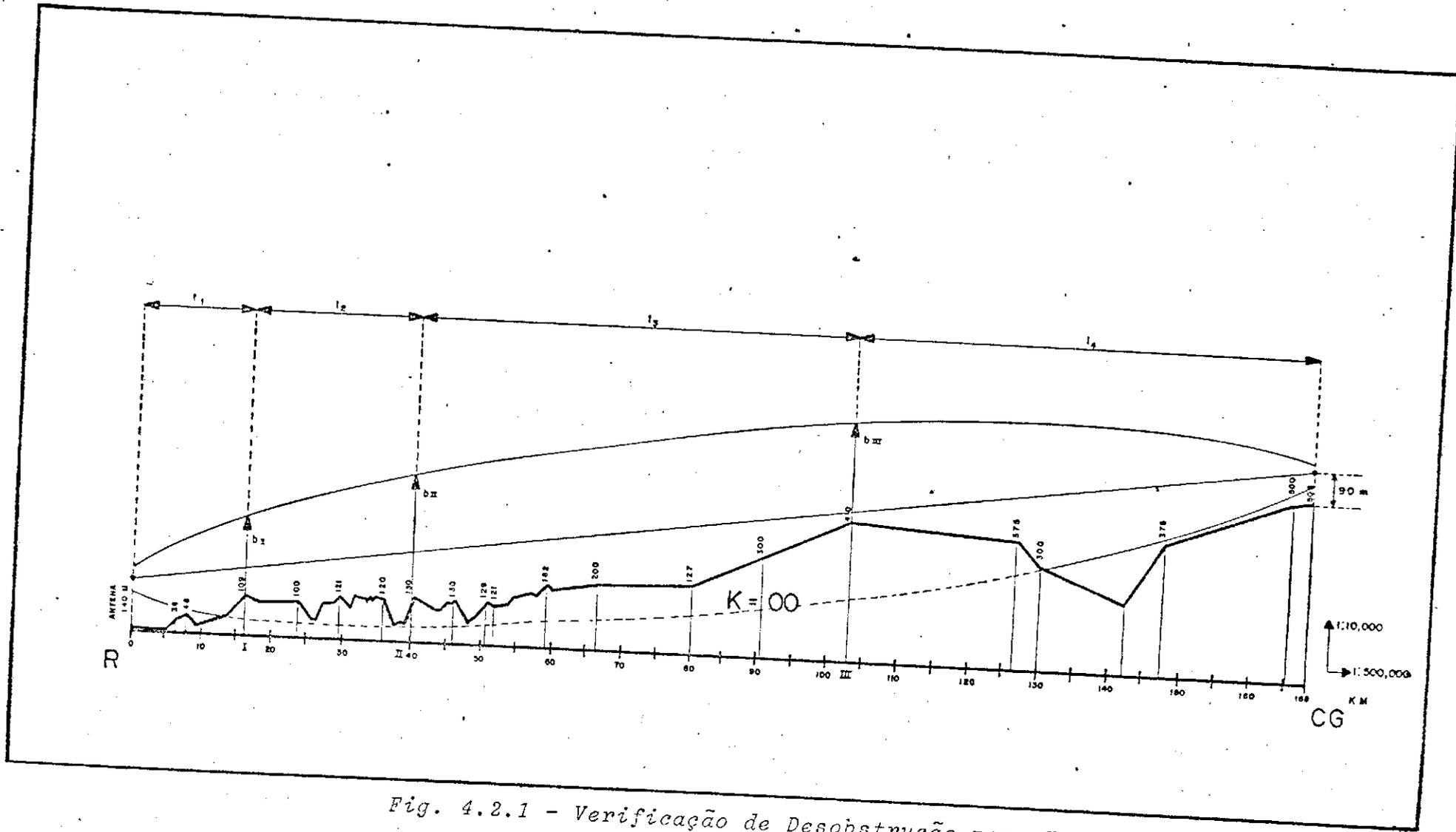


Fig. 4.2.1 - Verificação de Desobstrução para $K = \infty$

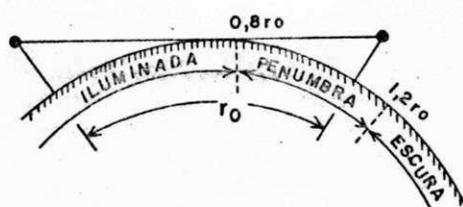


Fig. 4.3.1 - Zona Iluminada, Penumbra e Escura

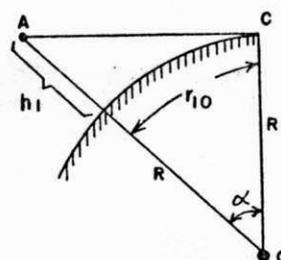


Fig. 4.3.2 - Determinação do "Range" de Linha de Visão

Da Fig. 4.3.2, a partir do ΔOAC , podemos escrever,

$$\cos \alpha = \frac{R}{R + h_1} \approx 1 - \frac{h_1}{R} \quad (4.3.2)$$

Como o ângulo geométrico é muito pequeno, podemos ainda considerar,

$$\begin{aligned} \text{Sen } \alpha &\approx \alpha \quad e \\ \cos \alpha &= \sqrt{1 - \alpha^2} \end{aligned}$$

O Desenvolvimento Binomial é novamente aplicado e,

$$\cos \alpha \approx 1 - 1/2 \alpha^2$$

Igualando as equações para o cosseno e como $\alpha = \frac{r_{10}}{R}$, vem

$$r_{10} = \sqrt{2Rh_1} \text{ m} \quad (4.3.3)$$

Generalizando o resultado para as duas antenas,

$$r_o = r_{10} + r_{20} = \sqrt{2R} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ m} \quad (4.3.4)$$

Utilizando o conceito de RAI0 EFETIVO DA TERRA, a expressão será,

$$r_o = \sqrt{2KR} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})m \quad (4.3.5)$$

Para os valores de $K = 2/3$ e $K = 4/3$, teremos,

$$r_{o_{2/3}} = 3 \left[\sqrt{h_{1m}} + \sqrt{h_{2m}} \right] \text{Km} = 44 \text{ Km}$$

$$r_{o_{4/3}} = 4,12 \left[\sqrt{h_{1m}} + \sqrt{h_{2m}} \right] \text{Km} = 60,4 \text{ Km}$$

Portanto, a linha de visã0 ficaria dentro dos limites,

$$r_{2/3} < 0,8 r_o < 0,8 \times 44 \text{ Km} = 35,2 \text{ Km}$$

$$r_{4/3} < 0,8 \times 60,4 \text{ Km} = 48,3 \text{ Km}$$

dependendo do tipo de refraçã0 considerado.

A segunda Zona, a Zona de Penumbra, onde o modo de Difraçã0 é predominante, é limitada por,

$$0,8 r_o < r < 1,2 r_o \quad (4.3.6)$$

Considerando os valores de K citados, temos a Tabela 4.3.1 que nos dá todas estas informações:

$K \backslash r$	$0,8 r_o$ (Km)	$1,2 r_o$ (Km)
2/3	35,2	52,8
4/3	48,3	72,4

Tabela 4.3.1 - Valores para o Contorno entre as Zonas Iluminada, Penumbra e Escura

No enlace em estudo, a distância r , entre os pontos de transmissão a recepção é de 168 Km. Desta forma, o receptor está situado além do limite superior da Zona onde o modo de difração é predominante.

Além de $1,2 r_0$, o modo predominante de propagação é o de ESPALHAMENTO TROPOSFÉRICO. Desta forma, partiremos para um estudo mais detalhado, considerando este modo de propagação.

4.4 - Parâmetros Geométricos na Transmissão por Espalhamento Troposférico

No Capítulo II, Parágrafo 2.3, foram vistas as características gerais da transmissão via espalhamento troposférico. Também, no Parágrafo anterior, ficou confirmada a impossibilidade da transmissão por visada direta ou difração, ficando assim caracterizado o modo de propagação entre Recife e Campina Grande, dos sinais de TV, como sendo espalhamento troposférico.

Neste tipo de propagação, existem parâmetros geométricos que lhes são característicos e que são importantes na estimativa da perda de transmissão ao longo do caminho.

A Fig. 4.4.1, nos apresenta alguns destes parâmetros:

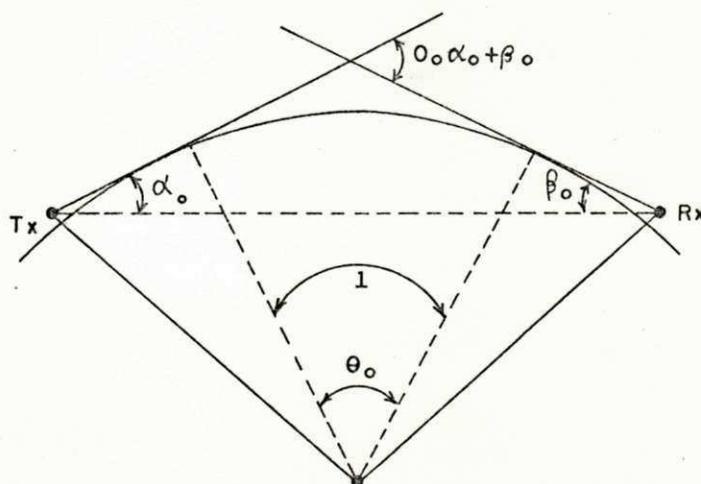


Fig. 4.4.1 - Parâmetros Geométricos na Transmissão Via Espalhamento Troposférico

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 P.6 - Núcleo Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Apício Veloso, 882 - Tel (083) 321-7222 - R. 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

Como foi visto anteriormente, o ângulo θ_0 (na Troposfera), é constituído por tangentes aos horizontes visíveis. Ele é conhecido como distância angular. Três situações podem ocorrer para θ_0 , dependendo da posição relativa das antenas transmissora e receptora:

- a - θ_0 Positivo: Quando a antena receptora, situa-se abaixo do raio do horizonte da antena transmissora
- b - θ_0 Nulo: Quando a antena receptora situa-se no raio do horizonte da antena transmissora
- c - θ_0 Negativo: Quando a antena receptora situa-se acima do raio do horizonte da antena transmissora.

Na grande maioria dos casos, o conceito de terra polida é irreal. O caminho de propagação geralmente é constituído de terreno irregular com montanhas. Faz-se necessário, se dispor do perfil do terreno. O perfil levantado no Parágrafo 4.1, será utilizado para tal fim.

Antes de continuar, é válido se fazer referência aos valores que podem ser assumidos pelo θ_0 . Da observação da figura 4.4.1, vemos que θ_0 pode ser expresso por $\theta_0 = 1/R$. Assim, eles são ângulos muito pequenos e normalmente são expressos em mR.

Um exemplo típico de um perfil, com os parâmetros, é mostrado na Fig. 4.4.2.

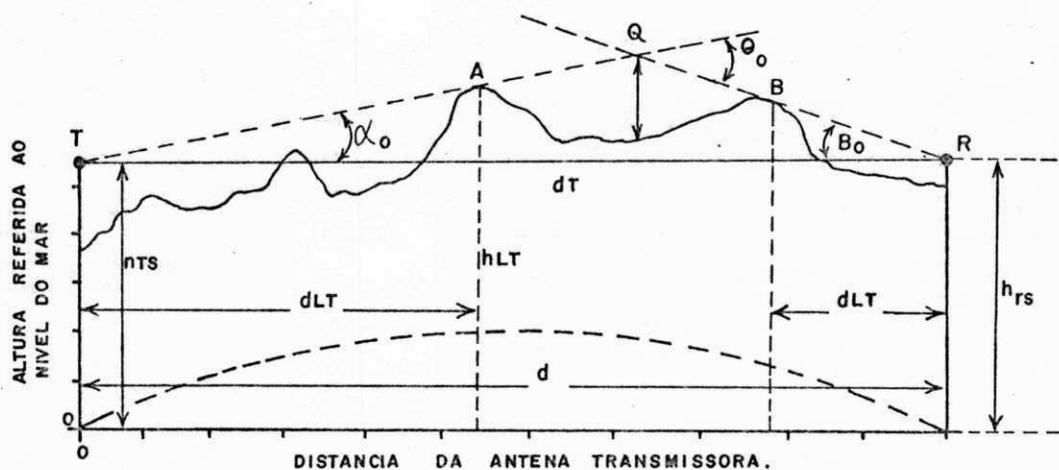


Fig. 4.4.2 - Perfil Característico com os Parâmetros Geométricos na Propagação Via Es palhamento Troposférico.

Da figura (Triângulo TQR), podemos escrever,

$$\alpha_0 + \beta_0 + (180^\circ - \theta_0) = 180^\circ \text{ ou}$$

$$\theta_0 = \alpha_0 + \beta_0 \quad (4.4.1)$$

De relações de triângulos, ainda se obtém,

$$\alpha_0 = \frac{h_{LT} - h_{TS}}{TA} = \frac{\left[h_{LT} - \frac{d_{LT}^2}{2KR} - h_{TS} \right]}{d_{LT}} + \frac{\left[h_{TS} + \frac{d^2}{2KR} - h_{RS} \right]}{d} \quad (4.4.2)$$

$$\beta_0 = \frac{h_{LR} - h_{RS}}{RB} = \frac{\left[h_{LR} - \frac{d_{LR}^2}{2KR} - h_{RS} \right]}{d_{LR}} + \frac{\left[h_{RS} + \frac{d^2}{2KR} - h_{TS} \right]}{d} \quad (4.4.3)$$

Além destes ângulos, outro parâmetro utilizado é a altura H do volume de espalhamento, acima da superfície. Estudos realizados por Du Castel (Ref. Bibliográfica 21), sugere:

$$H = \frac{D\theta_0}{8} \quad (4.4.4)$$

A altura H_1 , será considerada como a soma de H com o segmento acima do arco do bojo terrestre (H'), até a superfície, Fig. 4.4.3.

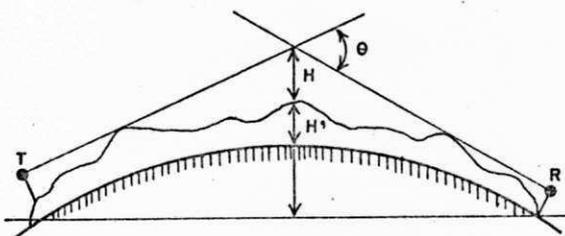


Fig. 4.4.3 - Obtenção do H_1

$$H_1 = H + H' \quad (4.4.5)$$

Os valores de H' podem ser encontrados no Apêndice II.

O parâmetro H_0 , é altura das tangentes ao bojo terrestre nos pontos de transmissão e recepção. A sua obtenção é possível a partir da Fig. 4.4.5.

Podemos escrever,

$$\cos \gamma = \frac{R}{R + \overline{AD}} \quad (4.4.6)$$

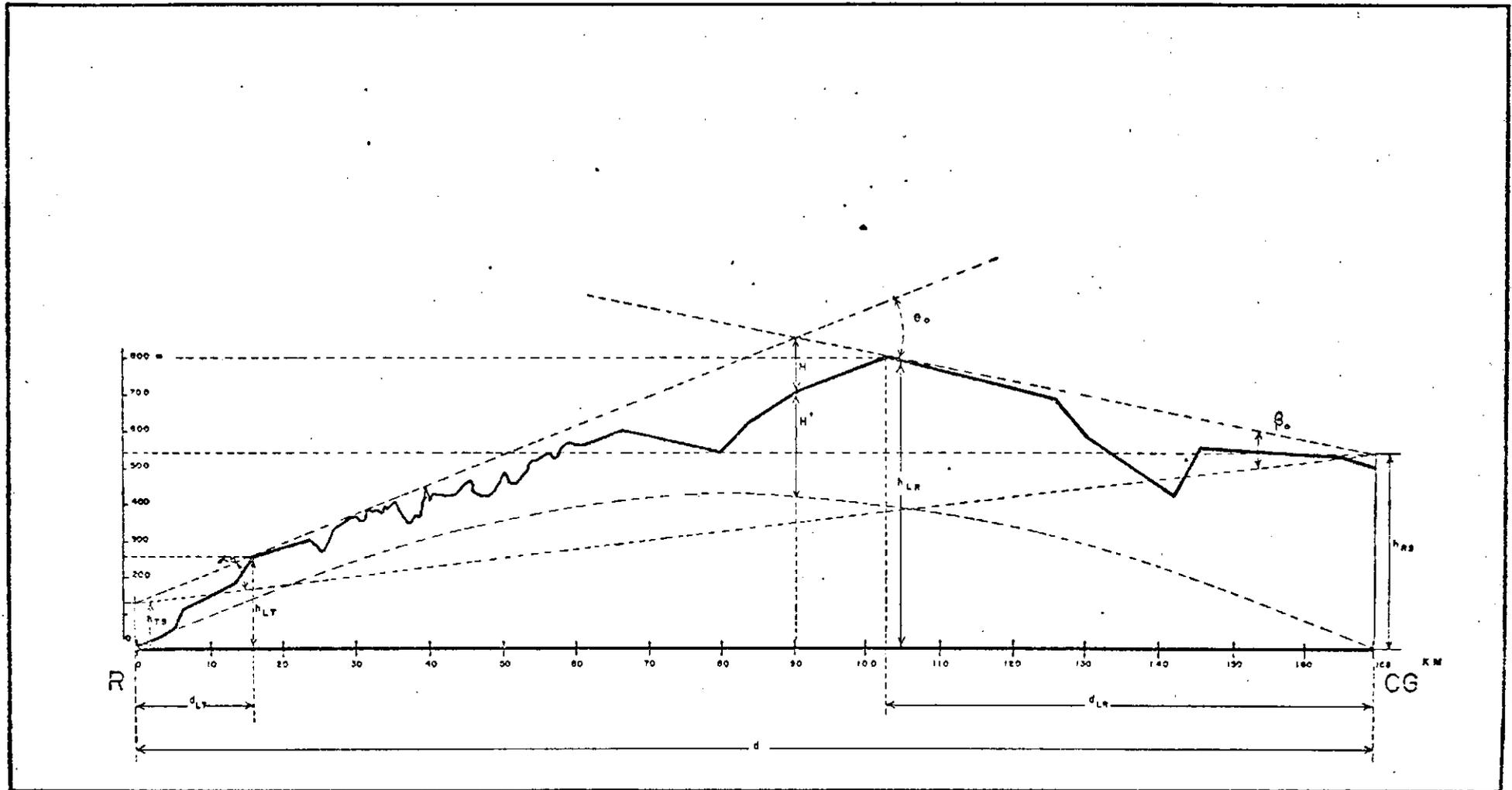


Fig. 4.4.4 - Perfil para Estudo da Propagação Via Espalhamento entre Recife e Campina Grande

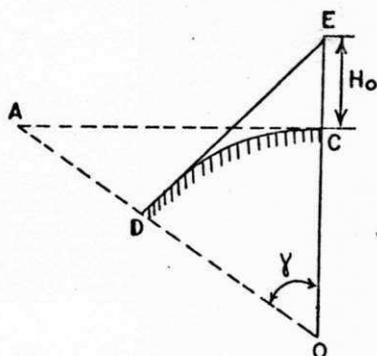


Fig. 4.4.5 - Obtenção do H_o .

Ou ainda utilizando o Desenvolvimento Binominal,

$$\cos \gamma \approx 1 - \frac{AD}{R}$$

Além disto, em casos práticos, o ângulo geométrico é pequeno e podemos escrever,

$$\sin \gamma \approx \gamma$$

Então,

$$\cos \gamma = (1 - \gamma^2)^{1/2}$$

Igualando as duas equações em $\cos \gamma$, obtemos,

$$\gamma = \frac{DC}{KR} = \left[\frac{2AD}{KR} \right]^{1/2} \quad (4.4.7)$$

Considerando que trabalhamos com as condições para K .

Se observarmos a figura, notamos que $\Delta OAC = \Delta OED$ e que $\overline{EC} = H_o = \overline{AD}$. Assim,

$$\gamma^2 = \frac{2 \overline{AD}}{KR} \cdot \cdot \cdot \quad \overline{AD} = \frac{\gamma^2 KR}{2} \quad (4.4.8)$$

Desta forma dispomos da seguinte situação: as duas cidades em estudo estão distanciadas de $d = 168$ Km; a altura da antena transmissora em Recife é de $h_{TS} = 132$ m; em Campina Grande a diferença entre pontos mais altos e mais baixos no perímetro urbano é de 100 m, com altitude mínima de 500 m e máxima de 600 m; considerou-se a altura da antena receptora em Campina Grande da ordem de $h_{RS} = 10$ m.

Além disto precisamos determinar no mapa da Fig. 4.4.4, a altura do horizonte da antena transmissora (h_{LT}), a altura do horizonte da antena receptora (h_{LR}), a distância ao horizonte da antena transmissora (d_{LT}) e a distância ao horizonte da antena receptora (d_{LR}).

Tendo em vista que ocorre uma diferença Δh entre os pontos de altura máxima e mínima em Campina Grande, considerável, os cálculos dos parâmetros serão efetuados para estas duas altitudes.

A tabela 4.4.1, nos dá as dimensões que são necessárias para a realização destes cálculos:

Parâmetros Altitude	h_{TS}	h_{RS}	d_{LT}	d_{LR}	h_{LT}	h_{LR}
500	132	510	16,5	66,5	255	800
600	132	610	16,5	66,5	255	800
m	m	m	Km	Km	m	m

Tabela 4.4.1 - Parâmetros Obtidos a Partir do Mapa

Abaixo, os cálculos para os valores de α_0, β_0 e θ_0 , considerando as regiões urbanas em Campina Grande, de 500 e 600 m de altitude.

$$\alpha_{0500} = \frac{255 - \frac{(16,5 \times 10^3)^2}{17 \times 10^6} - 132}{16,5 \times 10^3} + \frac{132 - 510 + \frac{(168 \times 10^3)^2}{17 \times 10^6}}{168 \times 10^3}$$

$$\alpha_{0500} = 14,1 \times 10^{-3} R = 14,1 \text{ mR.}$$

$$\beta_{0500} = \frac{800 - \frac{(66,5 \times 10^3)^2}{17 \times 10^6} - 510}{66,5 \times 10^3} + \frac{510 - 132 + \frac{(168 \times 10^3)^2}{17 \times 10^6}}{168 \times 10^3}$$

$$\beta_{0500} = 12,54 \times 10^{-3} R = 12,54 \text{ mR.}$$

$$\theta_{0500} = \alpha_0 + \beta_0 = (14,1 + 12,54) \text{ mR} = 26,64 \text{ mR.}$$

Para 600 m, os cálculos efetuados nos fornecem os resultados:

$$\alpha_{0600} = 13,51 \text{ mR}$$

$$\beta_{0600} = 11,66 \text{ mR}$$

e portanto,

$$\theta_{0600} = \alpha_0 + \beta_0 = (13,51 + 11,66) \text{ mR} = 25,17 \text{ mR.}$$

Para obtenção dos valores de H_0 e H_1 , Fig. 4.4.3, utilizamos as equações 4.4.4, 4.4.5 e 4.4.8. Os resultados para as alturas anteriormente mencionadas estão na tabela 4.4.2 abaixo:

Parâmetros Altitude	H	H'	H ₁	H ₀
500	559,4	300	859,4	415,3
600	528,57	300	828,57	415,3
m	m	m	m	m

Tabela 4.4.2 - Valores de H, H', H₁ e H₀ para as altitudes de 500 m e 600 m.

Podemos assim, resumir todos os parâmetros calculados, na tabela 4.4.3:

Altitude Parâmetros	500	600	Unidade
h_{TS}	132	132	m
h_{RS}	510	610	m
h_{LT}	255	255	m
h_{LR}	800	800	m
d_{LT}	16,5	16,5	Km
d_{LR}	66,5	66,5	Km
α_0	14,1	13,51	mR
β_0	12,54	11,66	mR
θ_0	26,64	25,17	mR
H ₀	415,3	415,3	m
H ₁	859,4	828,5	m

Tabela 4.4.3 - Resultados dos Parâmetros relativos ao Link Recife - Campina Grande.

É de interesse em Engenharia, a avaliação da perda de transmissão de um enlace de comunicações. O item anterior (4.4), foi dedicado à obtenção dos parâmetros ligados ao modo de propagação predominante entre as duas cidades, dados estes que são agora utilizados para o cálculo da atenuação do sinal.

Os estudos referentes à perda de transmissão por espalhamento troposférico, mostram que ela depende do tipo de mecanismo que causa o espalhamento. Pode-se selecionar como possíveis causas (Ver Capítulo II), as reflexões difusas ou especulares em camadas estáveis da troposfera ou espalhamento em camadas turbulentas, no processo de transmissão. Nele, cada um destes mecanismos atuam e a determinação de qual deles é preponderante é tarefa que depende de uma coleta de dados utilizando refractômetros em balões, o que refletirá as condições de refratividade locais.

F. du Castel (Ref. Bibliográfica 21-Capítulo VI/12) afirma que é conveniente nos cálculos de estimativas de perda, utilizar-se dos valores médios dos dados estatísticos visto que, eles levam em conta a contribuição de cada uma destas variáveis que podem intervir no processo de espalhamento de energia. Curvas, baseadas nestes dados, são construídas, que possibilitam seus usos em trabalhos de engenharia.

Um primeiro passo na estimativa da perda mediana de transmissão é o cálculo da perda no espaço livre. Ela corresponde à componente da perda total que é independente dos efeitos da terra e da atmosfera. É obtida considerando-se antenas isotrópicas nos extremos e depende apenas da distância e da frequência utilizada. Ela é expressa por,

$$L_{bfs} = 10 \log_{10} (4\pi d/\lambda)^2 = 20 \log_{10} (4\pi d) - 20 \log \lambda$$

(4.5.1)

Considerando-se as frequências em estudo, (199MHz e 213MHz), obtém-se,

$$L_{bfs_{199}} = 20 \log_{10}(12,566 \times 168 \times 10^3) - 20 \log_{10} 1,5075$$

$$L_{bfs_{199}} = 122,92 \text{ dB}$$

$$L_{bfs_{213}} = 123,51 \text{ dB}$$

A perda calculada anteriormente, é no entanto, hipotética. Para se determinar a perda de transmissão mediana para um caminho real, é necessário adicionar à do espaço livre a perda esperada para este caminho e este mecanismo de propagação. Este excesso de atenuação ($\Delta E.L.$), é obtido a partir da curva da figura 4.5.1, abaixo:

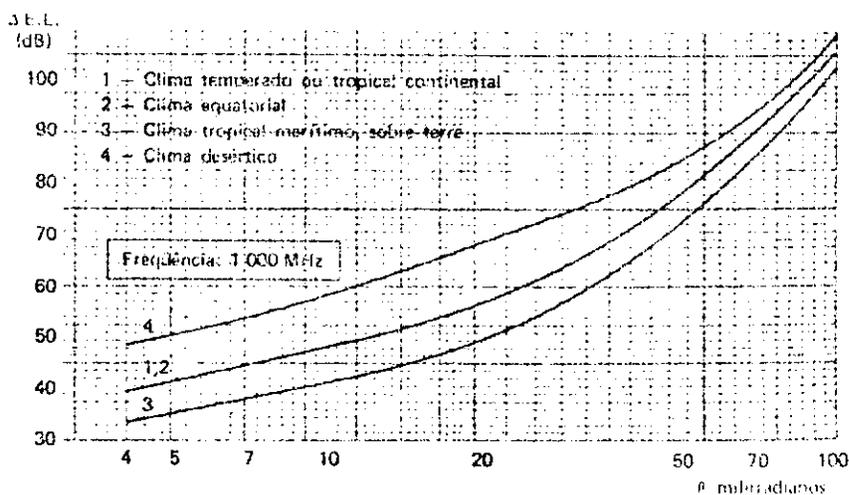


Fig. 4.5.1 - Excesso de Atenuação Característico do Modo de Propagação por Espalhamento.
(Ref. Bibliográfica 23)

Para este gráfico, considerou-se a curva 3, visto que o clima da região é tropical semi-árido. Os valores para θ_0 , podem ser lidos na tabela 4.4.3. Os valores lidos na curva apresentam,

$$\Delta E.L._{500} = 54,28 \text{ dB}$$

$$\Delta E.L._{600} = 51,5 \text{ dB}$$

Estas curvas foram elaboradas para uma frequência de 1.000 MHz. Como a frequência é uma das variáveis que condicionam o valor da perda de transmissão, uma correção é obrigatória ser efetuada. A curva da figura 4.5.2, abaixo, permite esta correção:

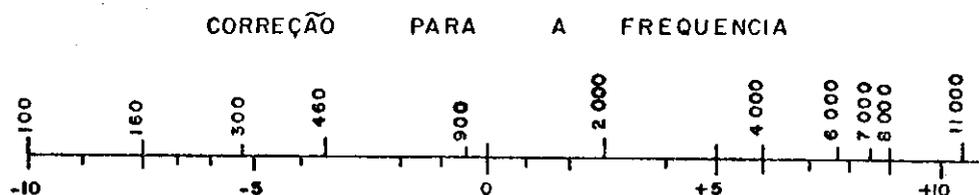


Fig. 4.5.2 - Correção da Perda para a Frequência.
(Ref. Bibliográfica 23)

Obtemos:

$$\Delta f_{199} = - 7 \text{ dB}$$

$$\Delta f_{213} = - 6,8 \text{ dB}$$

A próxima correção a ser efetuada, leva em conta a altitude do volume de espalhamento. A curva da figura 4.5.1, foi elaborada considerando-se a terra esférica polida em lugar da terra real com acidentes geográficos ao longo do caminho. A existência destes acidentes, levam à localização diferente do volume de espalhamento, com referência à terra polida (Fig. 4.5.3).

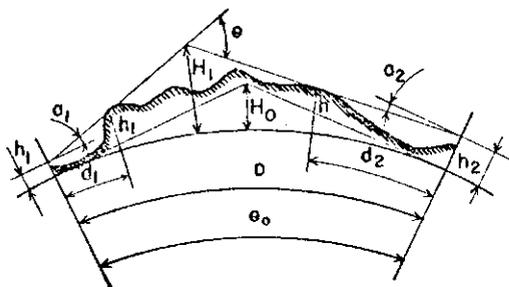


Fig. 4.5.3 - Alturas do Volume de Espalhamento para Terra Polida (H_0) e Terra Real (H_1).
(Ref. Bibliográfica 23)

Os cálculos para estes parâmetros (H_0 e H_1) podem ser tomados da tabela 4.4.3, e suas razões nos dão,

$$\frac{H_1}{H_0} = \frac{859,4}{415,3} = 2,06$$

$$\frac{H_1}{H_0} = \frac{828,5}{415,3} = 1,99$$

Estes dados levados à figura 4.5.4,

CORREÇÃO PARA A ALTITUDE DO ESPALHAMENTO

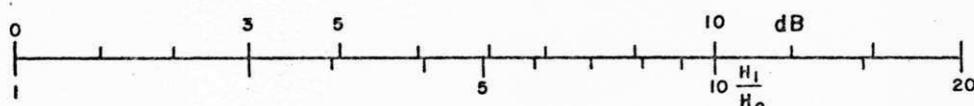


Fig. 4.5.4 - (Ref. Bibliográfica 23) - Correção para a Altitude do Volume.

nos oferece um valor aproximado de 3 dB de perda.

A atenuação mediana total, será dada pela soma dos fatores obtidos. Assim, teremos:

a) Frequência de 199 MHz

$$L_{m\text{dB}500} = 122,92 \text{ dB} + 54,28 \text{ dB} - 7 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 173,2 \text{ dB}$$

$$L_{m\text{dB}600} = 122,92 \text{ dB} + 51,5 \text{ dB} - 7 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 170,4 \text{ dB}$$

b) Frequência de 213 MHz

$$L_{m\text{dB}500} = 123,51 \text{ dB} + 54,28 \text{ dB} - 6,8 + 3 = 173,9 \text{ dB}$$

$$L_{m\text{dB}600} = 123,51 \text{ dB} + 51,5 \text{ dB} - 6,8 + 3 = 171,2 \text{ dB.}$$

Para finalizar este item, esclarecemos que a seqüên
cia dos passos para a obtenção da perda mediana de transmis
são, foi extraída das referências bibliográficas 23 (Cap.
VIII - 8.2.11.6) e 22.

CAPÍTULO V

MEDIDAS DE INTENSIDADE DE CAMPO DOS SINAIS DE TV

5.1 - Programa de Medições e Equipamentos

A hipótese de se considerar a terra polida, tem limitações impostas pela frequência de trabalho. Em baixas frequências (p.e. ondas médias) a topografia do terreno não é importante ficando a condutividade da terra como o fator determinante da atenuação do sinal. Com o aumento da frequência de trabalho (p.e. bandas de TV) regiões "escuras" para recepção ocorrem, devido à elevações de terreno. Por isto, a intensidade de campo pode variar extensivamente de um local ao outro, mesmo dentro de relativamente pequenas áreas de serviço, além da variação com o tempo em grandes distâncias (Cap. II - 2.3).

Com a finalidade de dar um mínimo de padronização no levantamento dos valores de campo de sinais, algumas recomendações são sugeridas (Ref. Bibliográfica 24). As recomendações para medições de intensidade de campo em áreas urbanas sugerem a seleção de pontos de forma que se tenha uma amostragem do terreno. Isto deve ser acompanhado tendo-se à disposição um mapa topográfico da região onde serão anotados detalhes acerca da topografia, altura e tipo de obstruções ou qualquer outro detalhe característico que possa condicionar o campo recebido. Estes dados devem ser anotados bem como a data e a hora de execução da medição.

Estas recomendações são de caráter geral, podendo-se ser observadas não apenas em trabalhos semelhantes em áreas urbanas, bem como em grandes distâncias do transmissor. Para o nosso caso, são de interesse aquelas que especificam técnicas de medição em cidades.

A seleção de pontos é feita construindo-se uma "grade" retangular sobre o mapa topográfico, e as medidas são tomadas nas interseções das linhas que formam a "grade", ou na impossibilidade, próximos a elas.

As dimensões da "grade" devem ser tais que, o número total de pontos de medição, deve ser, pelo menos, três vezes a raiz quadrada da população da cidade em milhares.

$$n^{\circ} \text{ de pontos} = 3 \sqrt{\text{população}} \quad (5.1.1)$$

Considerando o caso específico de Campina Grande e tomando a população $\approx 160 \times 10^3$ habitantes, teremos,

$$n^{\circ} \text{ de pontos} = 3 \sqrt{160} \approx 39$$

Foram determinados 36 pontos de medição, localizados no mapa 5.1.2 e linhas no Apêndice III.

A figura 5.1.1 mostra a situação das estações transmissora e receptora em Recife e Campina Grande.

A tabela 5.1.1 mostra detalhes do local de transmissão.

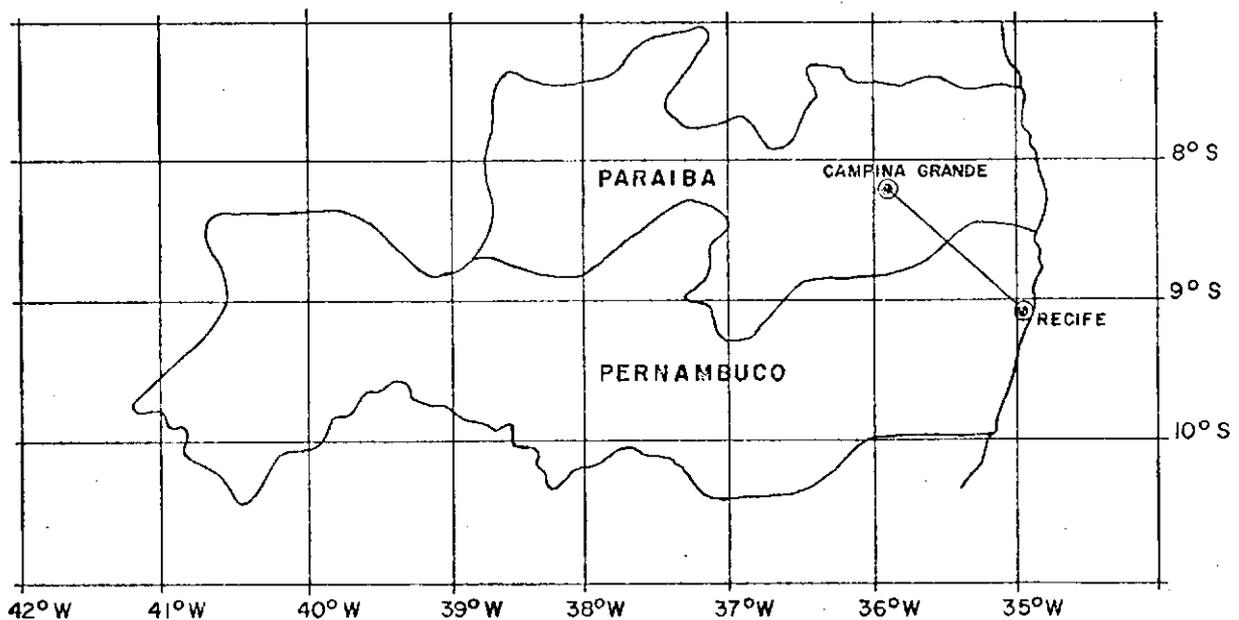


Fig. 5.1.1 - Estações Transmissora e Receptora no Enlace

<i>Estações Transmissoras</i>	<i>Frequência MHz</i>	<i>Altura do Local (m)</i>	<i>Altura da Antena Acima da Terra (m)</i>	<i>Altura Total da Antena (m)</i>
<i>Canal 11 TV U</i>	<i>199</i>	<i>10</i>	<i>130</i>	<i>140</i>
<i>Canal 13 TV Globo</i>	<i>213</i>	<i>70</i>	<i>70</i>	<i>140</i>

Tabela 5.1.1 - Detalhes do Local de Transmissão

Obs.: As alturas dos locais são relativas ao nível do mar.

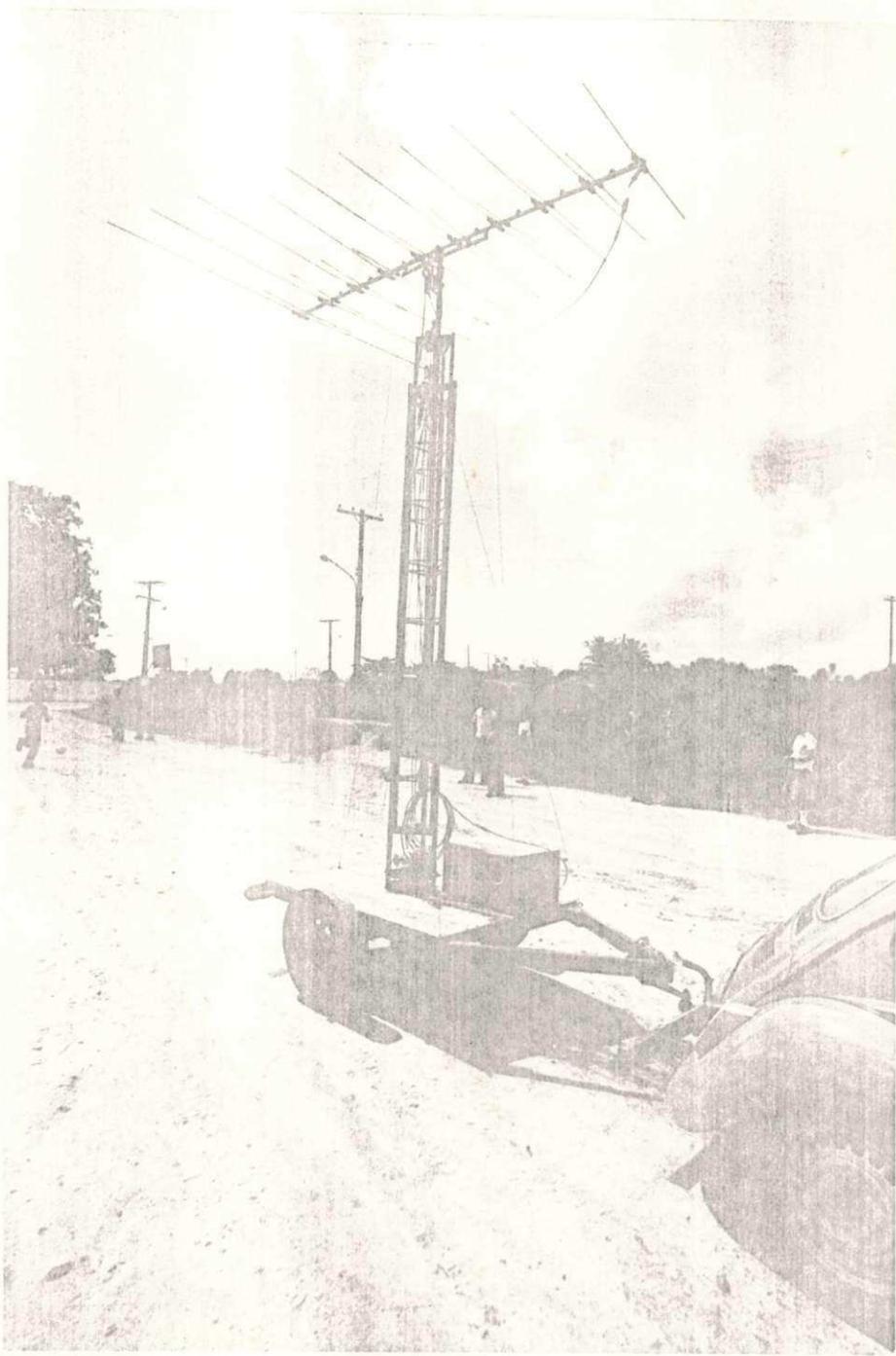
O equipamento utilizado para a realização das medições de intensidade de campo foi:

- Antena log-periódica YVC-19*
- Torre telescópica com altura de 9 m, máxima*
- Microvoltímetro SMV3 - Faixa de 84 - 300 MHz.*

O objetivo do programa de medições, foi a obtenção de uma coleção de dados de intensidade de campo, representativos da propagação do sinal sobre estas duas frequências.

A necessidade de transporte do equipamento, forçou sua colocação em um reboque. A Fig. 5.1.2 é a fotografia desta unidade que mostra a disposição deste equipamento. A Fig. 5.1.2 apresenta o mastro retraído enquanto a Fig. 5.1.3, apresenta a unidade em estado de medição. O mastro é conduzido em sua altura mínima, sendo estendido no local de medida e permite controle de rotação da antena.

As especificações da TASO (Television Allocattions Study Organization, Ref. Bibliográfica 24), recomenda para a faixa de VHF o uso de uma antena dipolo de $1/2 \lambda$ para ativi



*Fig. 5.1.3 - Unidade de Medição com Mastro na Mini
ma Altura.*

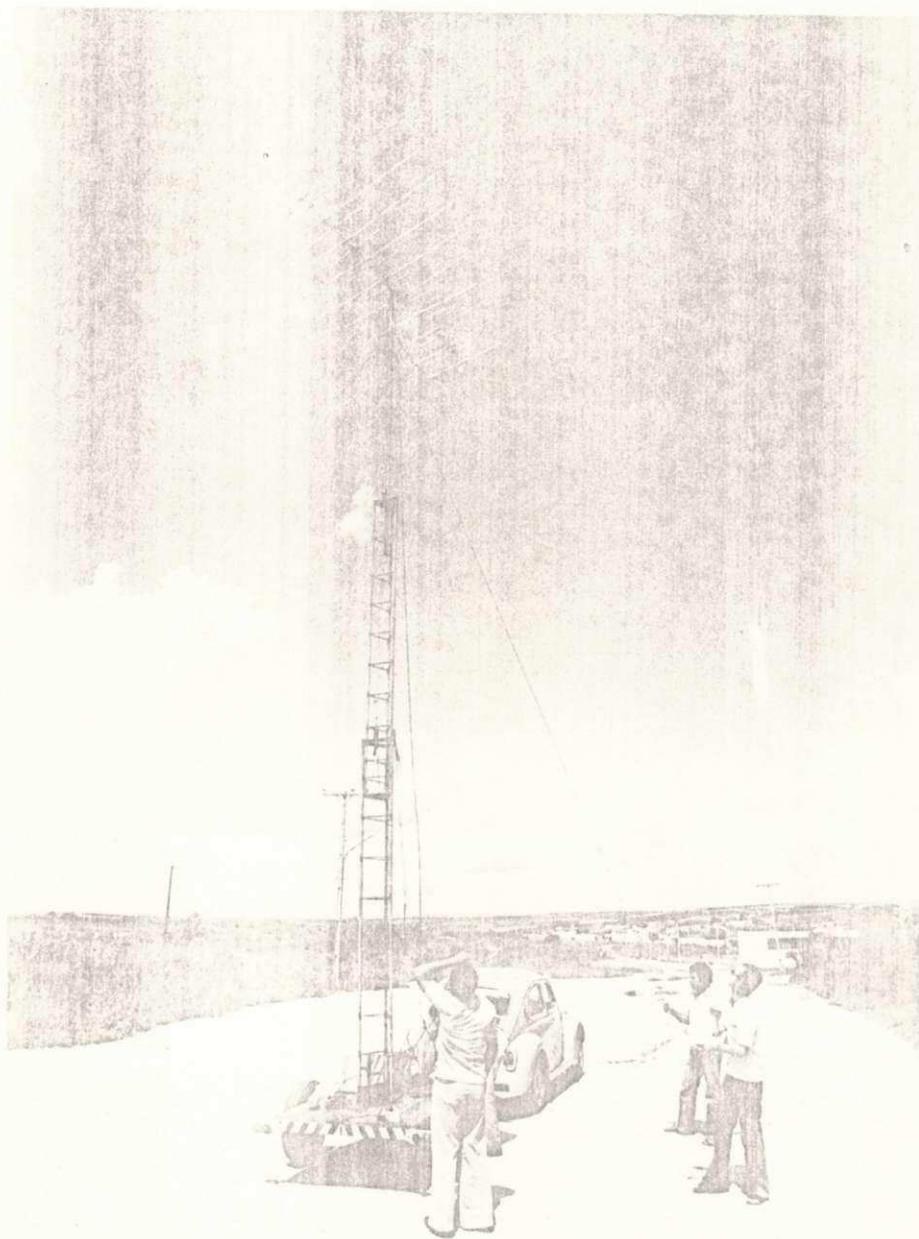


Fig. 5.1.4 - Unidade de Medição com Mastro Estendido no Local.

dades de medição de intensidade de campo. No entanto, utilizou-se a antena comercial YVC-19, log-periódica nesta atividade, fato que ficou condicionado a dois fatores:

- 1) No extremo final da faixa de VHF e em toda UHF, as antenas podem não desenvolver todo o seu ganho teórico em algumas áreas, especialmente em terrenos rugosos. O tipo de propagação do sinal, traz como característica, altas atenuações, principalmente à longas distâncias e nestes casos, o uso de uma antena direcional é vantajoso. Além disto, em locais onde o sinal pode ser contaminado por campos interferentes, seu uso é sugerido.
- 2) O tipo de antena utilizado, tem uso difundido em casas residenciais na cidade.

Certamente, o uso de outra antena, diferente do dipolo de 1/2 onda requer a determinação do ganho nas frequências de trabalho. Isto foi no Capítulo III.

O programa de medições foi realizado no período compreendido entre 17/05/77 - 22/08/77; obedecendo às datas especificadas na tabela 5.1.2, com os correspondentes pontos de medição efetuados.

DATA	MEDIÇÃO Nº	DATA	MEDIÇÃO Nº	DATA	MEDIÇÃO Nº
17/5/77	20, 21	06/6/77	9, 14	10/8/77	36
18/5/77	26, 33, 35	15/6/77	1, 3, 4	12/8/77	11
19/5/77	22, 23, 24	04/8/77	27, 28, 29	14/8/77	2, 17
20/5/77	25, 34	08/8/77	15, 16	15/8/77	31, 32
25/5/77	18, 19, 30	09/8/77	8	22/8/77	6, 7

Tabela 5.1.2 - Pontos de Medição e Datas de Realização

Estes pontos de medição estão relacionados no mapa da Fig. 5.1.2, bem como no Apêndice III (Dados Sobre a Intensidade de Campo para a Zona Urbana de Campina Grande).

5.2 - Relato dos Resultados

A Tabela no Apêndice III sumariza os resultados obtidos nas medições. Ela apresenta o número do local de medição, o bairro ou distrito, a altitude do local, as intensidades de campo para as frequências de 199 MHz e 213 MHz e o horário das medições. Alguns dados da terceira coluna inexistem devido a não se ter identificado no mapa topográfico, as cotas para os pontos.

Com base nestes dados, foram elaborados mapas de nível médio de sinal nas duas frequências de trabalho, para o perímetro urbano da cidade. Estes mapas podem ser analisados, nas Figuras 5.2.1 e 5.2.2.

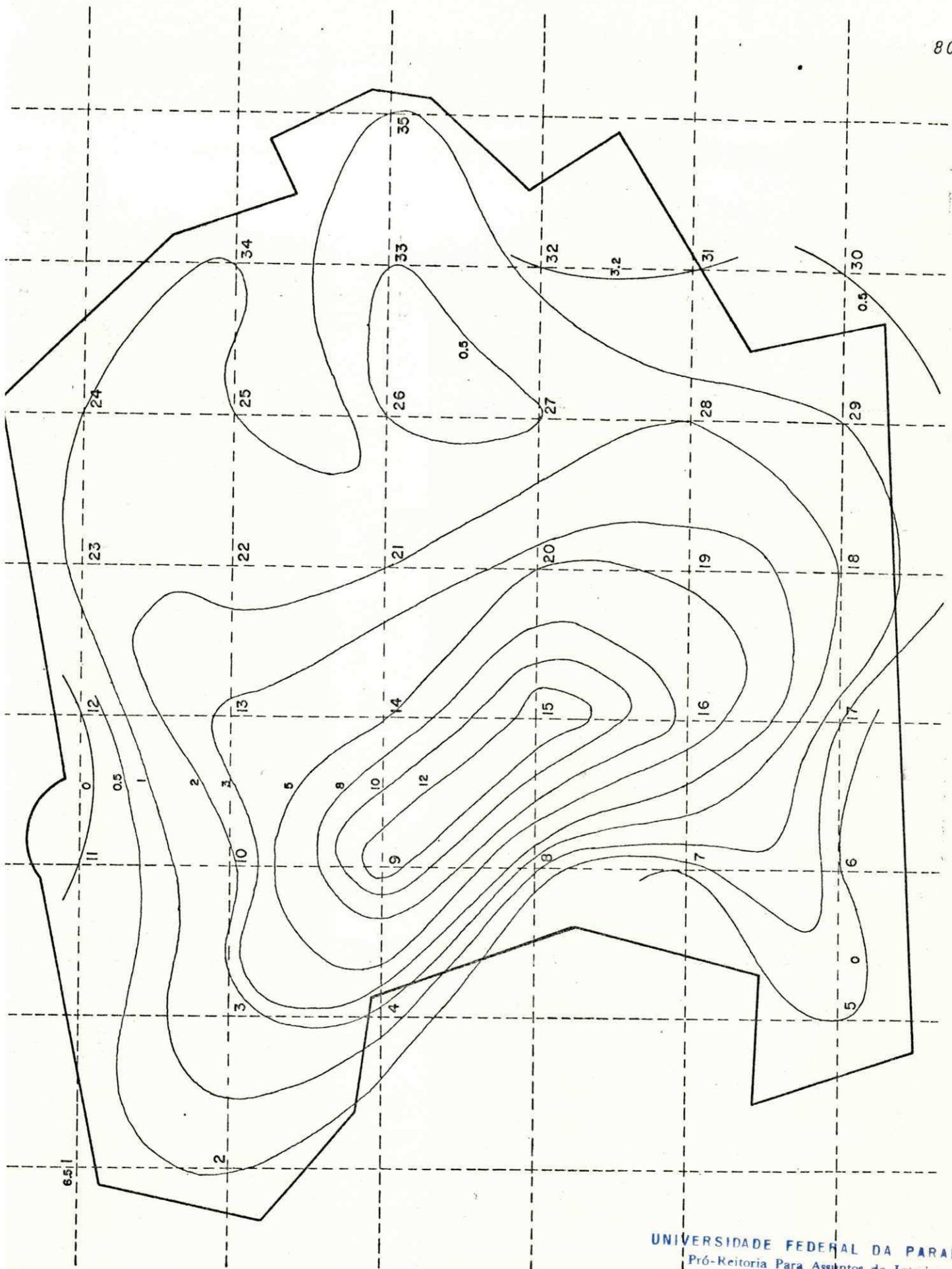


Fig. 5.2.1 - Mapa de Intensidade de Campo para o Canal 11

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321-7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

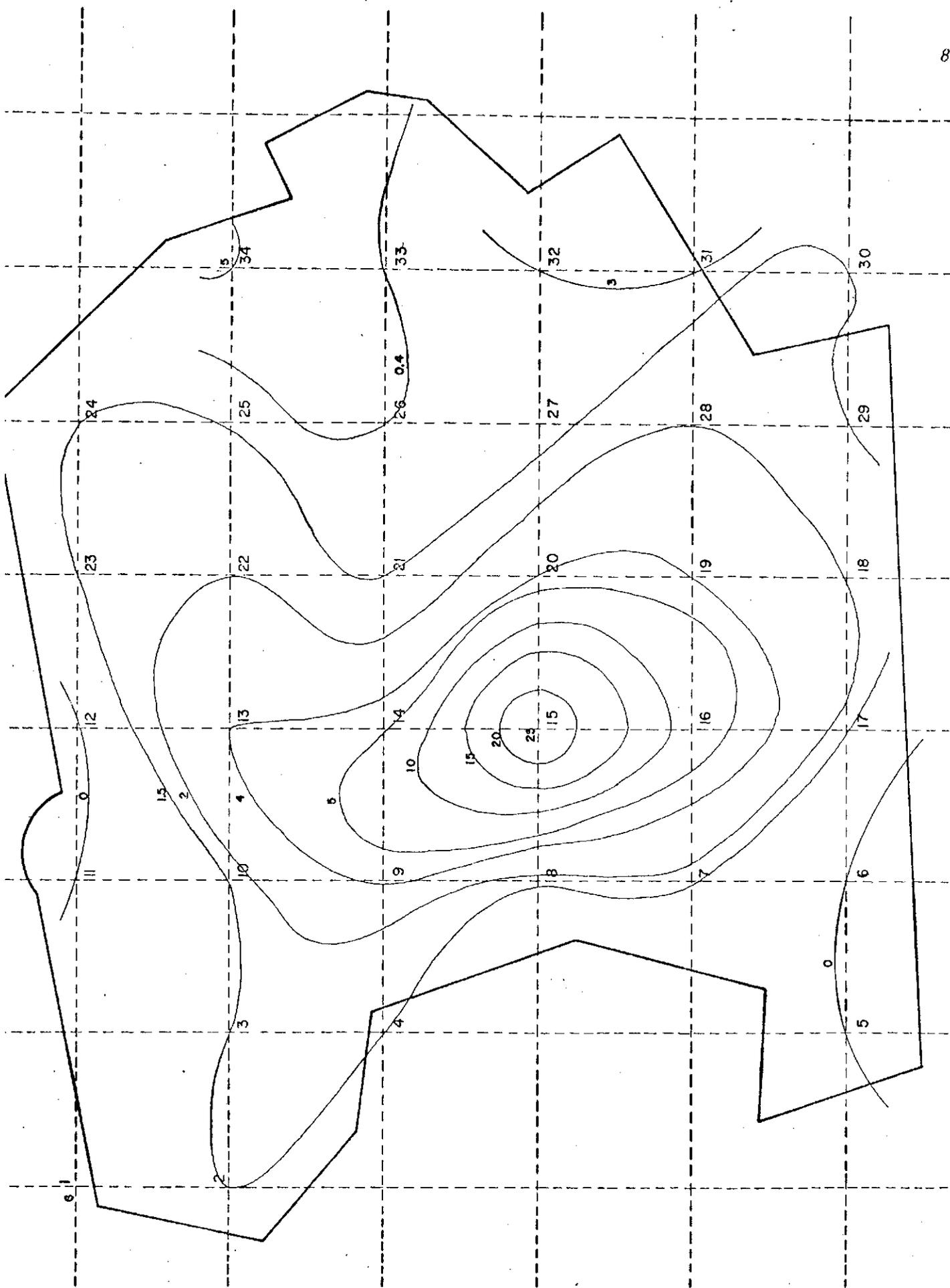


Fig. 5.2.2 - Mapa de Intensidade de Campo para o Canal 13

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

Passaremos a tecer algumas considerações relativas aos resultados referentes à antena objeto de estudo e concernentes ao aspecto de propagação do sinal.

Os diagramas das Figuras 3.3.5 e 3.3.6, apresentam falta de simetria na maioria dos canais e nos dois planos. Os diagramas de irradiação de antenas Log-Periódicas são, no entanto, caracterizados por grande simetria em ambos os planos, no sentido da direção de máxima radiação do sinal (Fig. 2.3.4). Os resultados, portanto, não seguem as previsões de finidas nos textos sobre o assunto. Consideramos como responsáveis por estas distorções nos diagramas, as reflexões do sinal, ocorridas no campo das medições.

Uma das condições fundamentais para a obtenção de diagramas precisos, requer que a antena transmissora produza ondas planas de amplitudes e fases uniformes (Ref. Bibliográfica 10). As variações no nível da intensidade de campo podem ser causadas por interferência dos raios direto e refletidos na superfície e em outros obstáculos próximos. Podemos assim, creditar as distorções apresentadas nos Diagramas de Irradiação à este fato, visto que o campo de medições utilizado para o estudo da YVC-19, devido à limitações práticas, apresentava obstáculos relevantes, como edificações e árvores próximas.

Por outro lado, o desempenho apresentado pelo irradiador no que tange ao Ganho, pode ser observado na Tab. 3.4.3. Os valores obtidos estão dentro da faixa de valores esperados para este tipo de antena. Apenas entre as frequências correspondentes aos canais 3 e 6 o desempenho obtido situou-se abaixo destes valores.

Passando a aspectos relativos ao processamento das medições, são necessárias algumas considerações. A técnica em pregada para a coleta de dados seguiu as recomendações da TASO (Ref. Bibliográfica 24); algumas destas não puderam ser cumpridas devidamente, tendo em vista as limitações práticas. É desejável que se tenha dados, obtidos através de uma técnica uniforme de amostragem. Sobre pequenas áreas, as intensidades de campo nas bandas de TV podem sofrer grandes variações locais. Também, ao se considerar a distância entre o receptor e o transmissor, os valores podem variar ao longo do tempo. Isto faz com que uma série de medidas devem ser efetuadas em cada local da grade de medição, gravando-se o sinal recebido para posteriores análises. Tendo em vista os motivos já ressaltados, cada ponto da grade foi alvo de uma única medição, esta constituída de tres amostras do nível do sinal.

Dentro destas condições, foram obtidos os mapas de nível de intensidade de campo, que estão expostos nas Figuras 5.2.1 e 5.2.2. Eles mostram que a intensidade de campo máxima para a frequência de 199 MHz foi de aproximadamente 15 $\mu\text{V}/\text{m}$, enquanto que, para a frequência de 213 MHz, este nível se situou em torno de 25 $\mu\text{V}/\text{m}$. De acordo com as recomendações do CCIR (Ref. Bibliográfica 27), o valor mediano da intensidade de campo nesta frequência, não deve ser inferior a 48 dB μ , aproximadamente 250 $\mu\text{V}/\text{m}$. Desta forma, o sinal recebido, não é de boa qualidade, o que é verificado ao se notar interferências de outras estações ou mesmo as oriundas de instalações industriais e domésticas.

APÊNDICE IBOJO DA TERRA

$$K = 4/3$$

d_1 Km	d_2 Km	h m	d_1 Km	d_2 Km	h m
5	163	47,9	95	73	407,9
10	158	92,9	100	63	400
15	153	135	105	63	389
20	148	174,1	110	58	375,2
25	143	210,1	115	53	358,5
30	138	243,5	120	48	338,8
35	133	273,8	125	43	316,1
40	128	301,1	130	38	290,5
45	123	325,5	135	33	262
50	118	347	140	28	230,5
55	113	365,5	145	23	196,1
60	108	381,1	150	18	158,8
65	103	393,8	155	13	118,5
70	98	403,5	160	8	75,2
75	93	410,1	165	3	29,1
80	88	414,1			
85	83	415			
90	78	413			

$$h = \frac{d_1 d_2}{12,74K} = \frac{d_1 d_2}{17}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321 7222-R 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

$$K = 2/3$$

d_1 Km	d_2 Km	h m	d_1 Km	d_2 Km	h m
5	163	95,8	95	73	816
10	158	185,8	100	68	800
15	153	270	105	63	768
20	148	348	110	58	750,5
25	143	420,5	115	53	717
30	138	487	120	48	677,5
35	133	547,5	125	43	632,3
40	128	602,3	130	38	581
45	123	651	135	33	524
50	118	694	140	28	461
55	113	731	145	23	392,3
60	108	762	150	18	317,5
65	103	787,5	155	13	237
70	98	807	160	8	150,5
75	93	820,5	165	3	58,2
80	88	828			
85	83	830			
90	78	823			

$$h = \frac{d_1 d_2}{12,74K} = \frac{d_1 d_2}{8,5}$$

APÊNDICE IITOPOGRAFIA DO CAMINHO RECIFE - CAMPINA GRANDE

ORIGEM: RECIFE

OBS.: Dados obtidos a partir dos mapas cedidos pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

L Km	Altitude m	L Km	Altitude m
0	2	31,5	128
3	2	31,8	120
5	4	31,9	100
6,3	38	32	120
8	46	32,3	80
9	14	32,4	100
13,7	50	32,5	120
16,3	109	32,7	100
18,7	100	33	120
23,7	103	33,2	90
25,7	50	33,5	100
26,5	50	33,7	80
27,2	100	34,1	120
28,6	106	34,2	100
29	100	34,3	120
29,2	115	34,4	100
29,5	121	34,6	110
29,7	121	34,7	120
30,7	100	34,8	126
31	90	35,1	100
31,1	100	35,2	110
31,2	120	35,3	120

<i>L</i> Km	<i>Altitude</i> m	<i>L</i> Km	<i>Altitude</i> m
35,5	126	49	88
35,6	110	49,7	100
35,7	100	50,5	129
35,8	120	51	100
37	80	51,3	121
37,4	50	51,7	100
37,7	50	53,7	126
38	60	54,2	148
38,1	50	55,6	150
38,5	60	57	163
38,7	50	57,6	150
39	60	59,2	182
40	130	60	173
40,3	100	60,3	150
41,2	115	60,5	173
42	111	66,5	200
43	100	80	127
43,4	100	90,5	300
43,7	100	103	410
45	119	126,5	375
45,2	111	130	300
45,5	119	142	200
45,7	130	148	375
46	91	165,5	500
48	73	168	508

APÊNDICE III

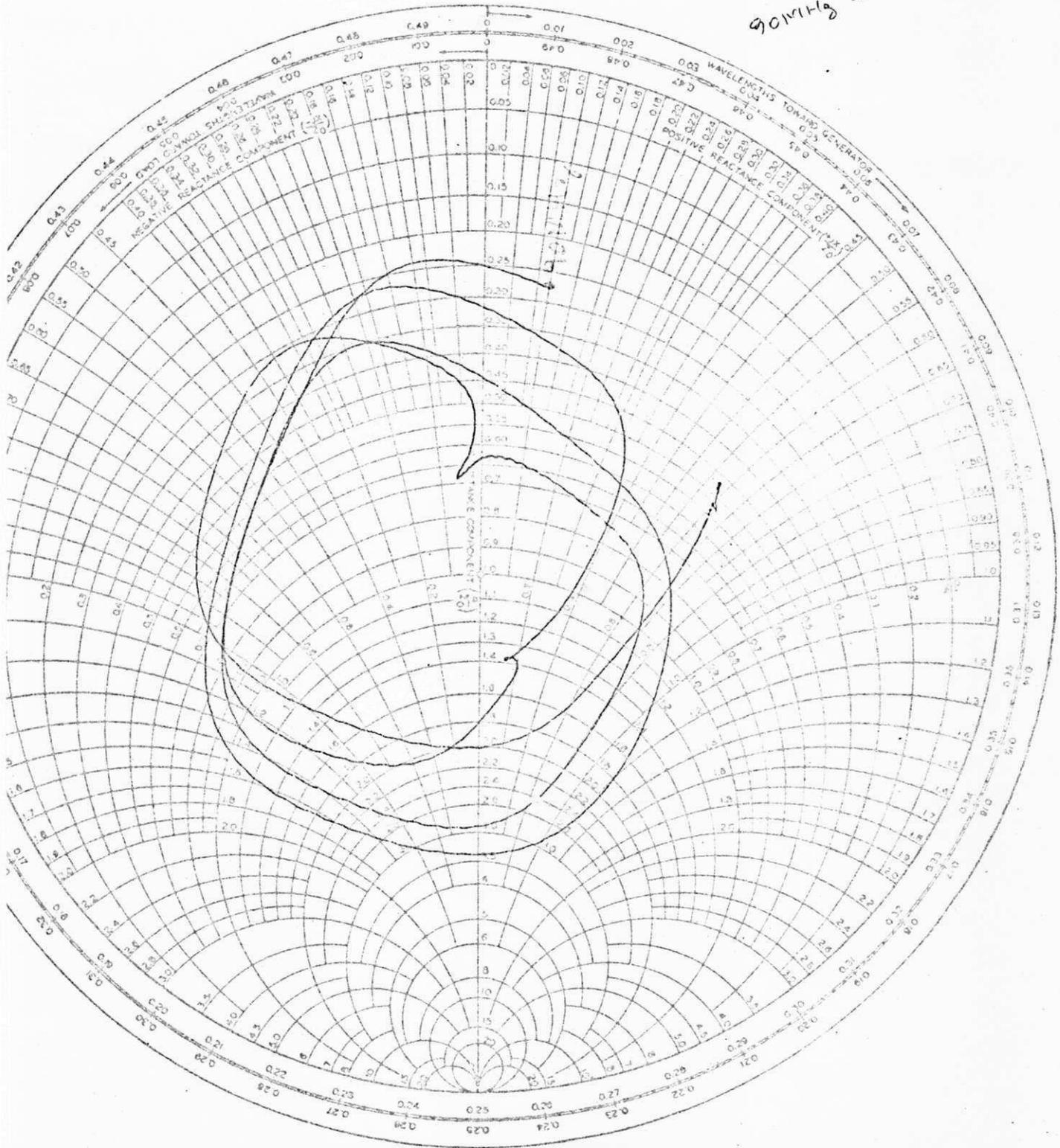
DADOS SOBRE A INTENSIDADE DE CAMPO PARA A ZONA URBANA
DE CAMPINA GRANDE

Estação Receptora		Altitude (m)	Intensidade de Campo Relativo a 1 μ V/m para 5 KW Transmitidos (dB)		Horário de Medição
Nº	Local		Canal 11	Canal 13	
02	Bodocongô	530	-3,01	1,76	20:45
03	Bodocongô	500	1,76	1,76	20:00
04	Serrotão	500	1,76	1,76	21:40
05	3 Irmãs		<-3	<-3	18:30
06	Cruzeiro	500	<-3	<-3	17:00
07	Melo Leitão	525	<-3	1,76	17:50
08	Santa Rosa	515	0	2,55	21:30
09	Centenário	535	11,3	6,02	20:00
10	Bodocongô	520	2,55	1,76	20:30
11	Hosp. FAP	500	<-3	<-3	22:30
12	Jeremias	545	<-3	<-3	19:00
13	Monte Santo	570	5,05	6,02	17:50
14	Prata	565	6,81	6,99	20:30
15	Quarenta	532	11,76	13,98	21:00
16	Odon Bezerra	515	8,45	9,5	22:30
17	Vila Paulistano		-3,01	1,76	22:30
18	Tambor		3,01	3,01	20:00
19	Liberdade	502	6,33	6,02	17:50
20	Liberdade	518	7,16	5,91	20:30
21	São José	525	3,01	1,76	21:10
22	Palmeira	538	0,4	3,01	21:30
23	Reserv. Palmeira	600	0,79	1,76	22:30
24	Onze Cruzes	573	0	1,76	18:20

Estação Receptora		Altitude (m)	Intensidade de Campo Relativo a 1 μ V/m para 5 KW Transmitidos (dB)		Horário de Medição
Nº	Local		Canal 11	Canal 13	
25	Alto Branco	543	0	1,76	17:40
26	Centro	527	-3,01	-3,98	18:15
27	Catolê	508	-3,01	-3,01	17:00
28	Prado	508	3,01	3,01	21:40
29	Catolê		0	1,76	23:30
30	Médico Campestre		<-3,01	1,76	17:30
31	Vila Cabral	523	5,05	4,77	21:20
32	José Pinheiro	510	5,02	4,77	20:30
33	José Pinheiro	515	-3,01	-3,98	17:00
34	Santo Antonio	559	0	6,99	18:10
35	Nova Brasília		0	3,01	19:30
36	Prata		7,32	7,92	22:50

YVC 19	Feito por: Verificado por: Data:	Projeto: Relatório Página
--------	--	---------------------------------

90MHz - VSWR 2,8

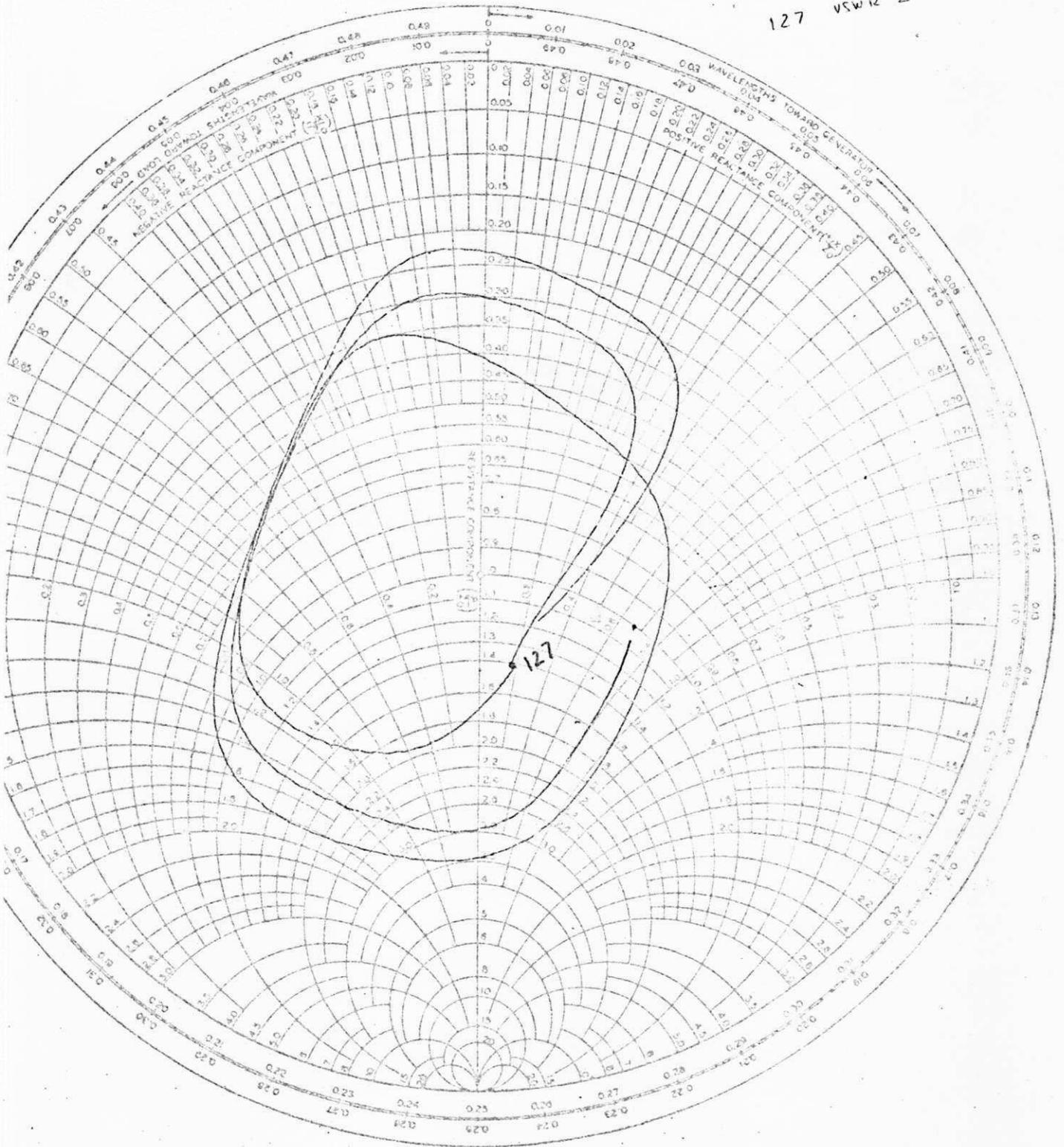


Y VC 19

Feito por:
Verificado por:
Data:

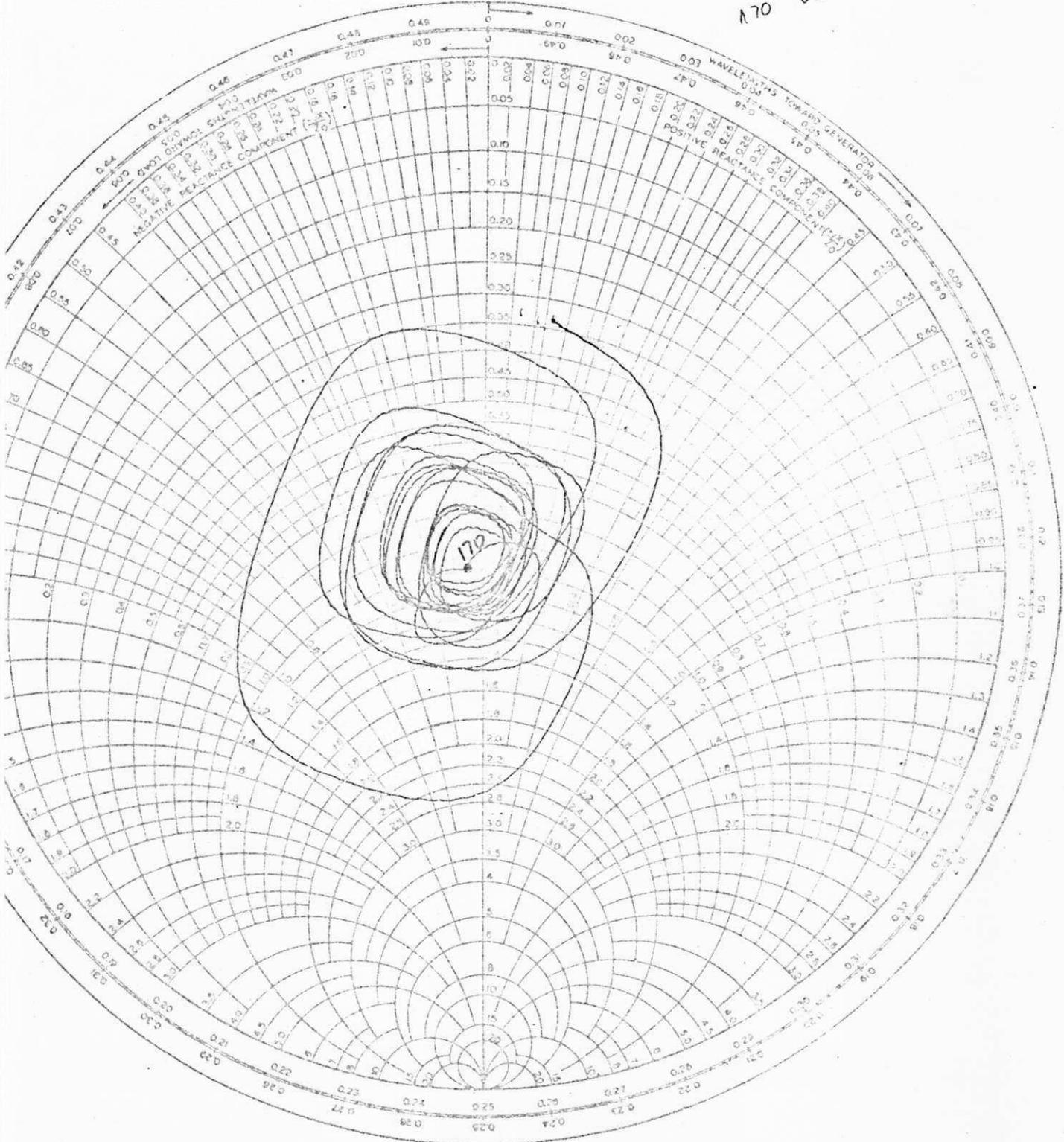
Projeto:
Relatório:
Página

127 VSWR 2



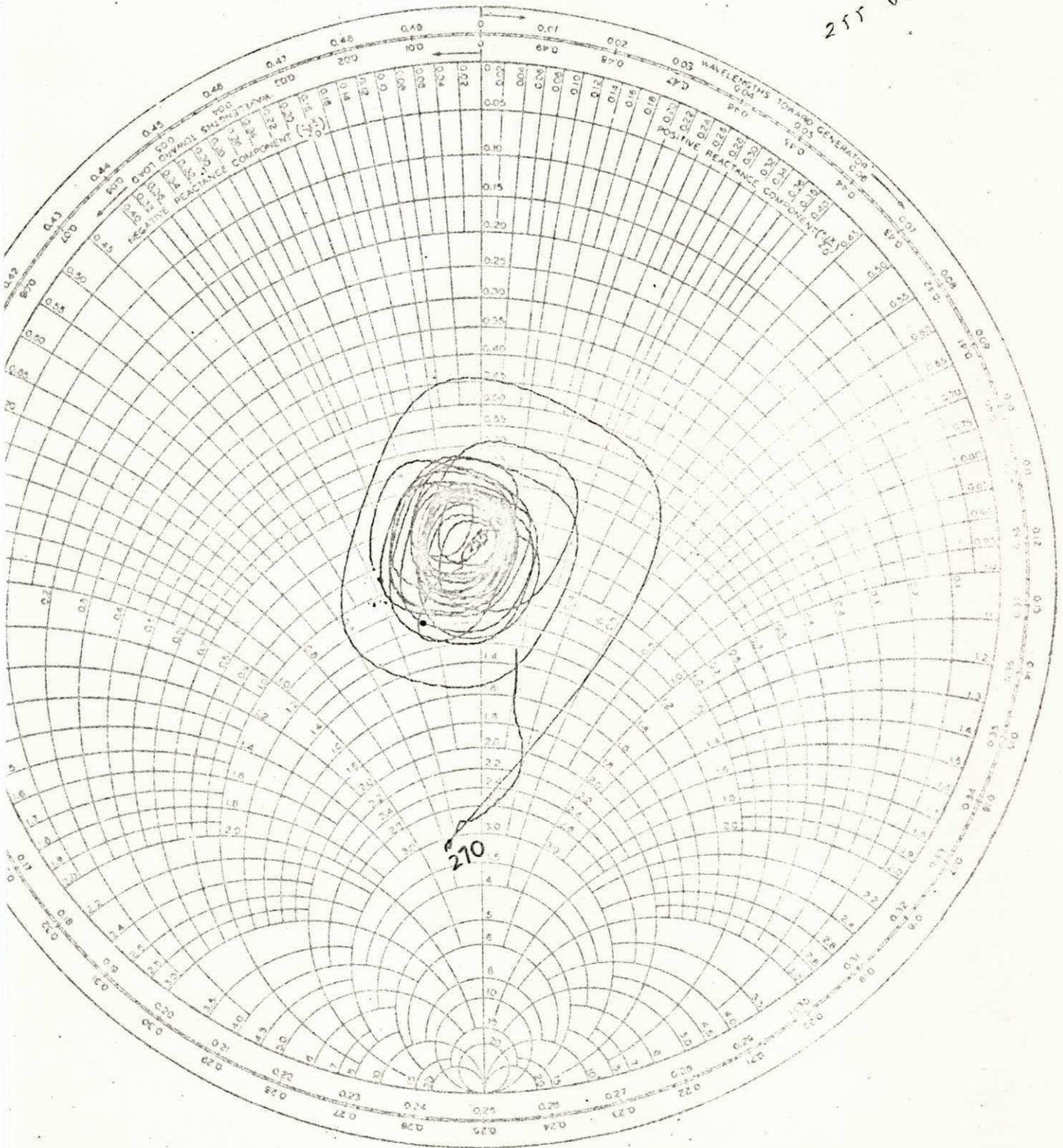
YVC 19	Feito por:	Projeto:
	Verificado por:	Relatório:
	Data:	Página:

170 VSWR 1,25



C 19	Feito por:	Projeto:
	Verificado por:	Pelatório
	Data:	Página

255 VSWR 1,15

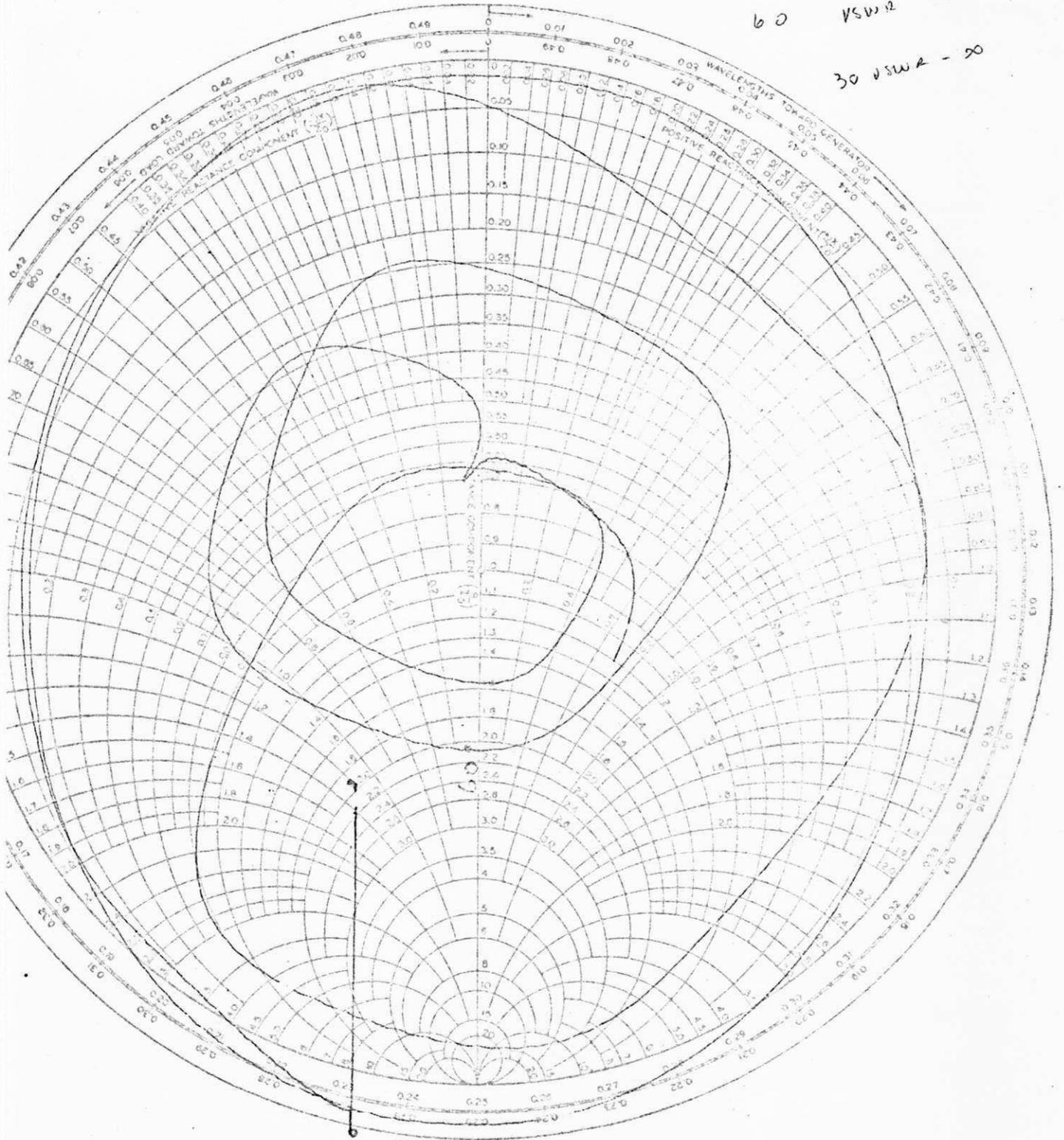


YVC19

Feito por:
Verificado por:
Data:

Projeto:
Relatório
Página

60 VSWR - 2
30 VSWR - 20



30 MHz

APÊNDICE V

ÁREAS DOS DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO DA ANTENA YVC-19

Frequên cia MHz	Δl_{pE}	Δl_{pH}	Δl_{tE}	Δl_{tH}	Δl_s		f
					E	H	
57 Canal 2	681	490	479	205	174	97;55	0,463
	660	492	479	206	172	95;72	
	669	479	479	180	172	94;68	
	670	487	479	197	172;66	95,3;65	
79 Canal 5	925	1665	95	0	96	0	0,9
	921	1669	105	0	91	0	
	919	1662	96	0	96	0	
	921,6	1665,3	98,6	0	94,3	0	
177 Canal 7	731	165	165	30	107;30	884	0,27
	714	159	164	29	109;30	885	
	720	160	160	32	102;30	887	
	721,6	161,3	163	30,3	106;30	885,3	
183 Canal 8	312	600	30	120	255	180;140	0,7
	308	600	28	119	255	191;137	
	308	596	28	120	254	189;141	
	309,3	598,6	28,6	119,6	254,6	187;139	
189 Canal 9	615	546	29	321	32	170;519	0,39
	610	541	26	322	29	178;530	
	610	550	29	321	29	173;521	
	611,6	545,6	28	321,3	30	174;526	

Frequência MHz	Δl_{pE}	Δl_{pH}	Δl_{tE}	Δl_{tH}	Δl_s		f
					E	H	
199 Canal 11	649	955	14	113	77	41	0,81
	646	950	14	117	75	49	
	641	960	15	117	74	40	
	645,3	955	14,3	115,6	75,3	43,3	
207 Canal 12	855	1139	446	0	165	0	0,81
	855	1070	446	0	161	0	
	858	1066	449	0	158	0	
	856	1091,6	447	0	161,3	0	
213 Canal 13	840	1032	324	32	229	0	0,69
	842	1023	325	27	225	0	
	832	1027	328	28	228	0	
	838	1027,3	325,6	29	227,3	0	

APÊNDICE VIFREQUÊNCIAS MÉDIAS PARA OS CANAIS DE TV

FREQUÊNCIA	50 MHz	54	60	66	72	76	82	88	108
CANAL	Amadores	2	3	4		5	6		

174	180	186	192	198	204	210	216	220	225
	7	8	9	10	11	12	13	Amadores	

CANAL	FREQUÊNCIA MHz	λ m
2	57	5,26
3	63	4,76
4	69	4,34
5	79	4,79
6	85	3,52
7	177	1,69
8	183	1,63
9	189	1,58
10	195	1,53
11	199	1,50
12	207	1,44
13	213	1,40

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 882 Tel (083) 321-7222-R 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

BIBLIOGRAFIA

- 01 - Williams, H. Paul - *Antenna - Theory and Design - Volume I. Sir Isaac Pitman and Sons Ltd - 1966*
- 02 - Rumsey, Victor H. - *Frequency Independent Antennas . New York, Academic Press - 1966*
- 03 - Du Hamel, R.H. e Isbell, D.E. - *Broadband Logarithmically Periodic Antenna Structures. IRE National Convention Record - 1957*
- 04 - Weeks, W.L. - *Antenna Engineering . McGraw Hill Book Company - 1968*
- 05 - Isbell, D.E. - *Log Periodic Dipole Arrays. IRE Transactions on Antennas and Propagation. Volume AP 8-Maio 1960*
- 06 - Vito, Giuseppe e Stracca, Giovanni B. - *Comments on the Design of Log Periodic Dipole Antennas. Transactions on Antennas and Propagation - Volume AP 21, nº 3 - Maio 1973*
- 07 - Jordan, E.C. e Balmain, K.G. - *Electromagnetic Waves and Radiating Systems. New Delhi, Prentice Hall - 1971*
- 08 - Glazier, E.V. e Lamont, H.R.L. - *The Service's Textbook of Radio. Volume 5, London, Her Majesty's Stationery Office - 1958*
- 09 - Gabriel, F.O. e Diniz, Aroldo B. - *Ondas Eletromagnéticas. Rio de Janeiro-RJ, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A - Editora Universidade de São Paulo - 1973*
- 10 - Kraus, John D. - *Antennas . London, McGraw Hill Book Company - 1950*
- 11 - Conforti, Evandro - *Antenas e Propagação. Publicação Interna, CCT-UFPb - 1969*
- 12 - Dolukhanov, M. - *Propagation of Radio Waves . Moscow, MIR Publishers - 1971*

- 13 - *Planning and Engineering of Radio Relay Links* - Siemens
- 14 - Pontes, Marlene S. e Assis, Mauro S. - *Radiometria em Regiões Tropicais e Equatoriais. Revista Brasileira de Tecnologia, Volume 4, CETUC - 1973*
- 15 - Bullington, Kenneth - *Characteristics of Beyond the Horizon Radio Transmission. Proceedings of IRE, October - 1955*
- 16 - Castelli, E. - *Radio Relays for Television. European Broadcasting Union Technical Centre (RAI) - 1969*
- 17 - Burrows, W.G. - *VHF Radio Wave Propagation in Troposphere.*
- 18 - Carl, Helmut - *Radio Relay Systems*
- 19 - *High Frequency Techniques*
- 20 - *Radio Communication Handbook - Radio Society of Great Britain. London - WCI*
- 21 - Du Castel, François - *Tropospheric Radio Wave Propagation. Series of Monographs in Electromagnetic Waves, Volume 8, Pergamon Press - 1966*
- 22 - Norton, Rice and Vogler - *Use of Angular Distance in Estimating Transmission Loss. Proceedings of IRE - October 1955*
- 23 - Piquenard, Armel - *Complementos de Telecomunicações - Editora Universidade de São Paulo - 1976*
- 24 - Head, H.T. e Prestholdt, L. - *The Measurement of Television Field Strengths in VHF and UHF Bands. Proceedings of the IRE, Junho 1960*
- 25 - Wharton, W. e Howorth, D. - *Principles of Television Reception. Pitman Publishing - 1967*
- 26 - Owolabi e Lane, J.A. - *Transhorizon Propagation on VHF and UHF Radio Links in United Kingdom. Proceedings of IEE - 1973*
- 27 - CCIR - *Documents de La X^e Assemblée Plénière - Volume V, Radiodiffusion Télévision. L'Union Internationale de Telecommunications, Genève - 1963*