

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ERNANDES APARECIDO SARAIVA

**DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO
RADOMO NO DIAGRAMA DE RADIAÇÃO
DE ANTENA DE RADAR METEOROLÓGICO**

CURITIBA

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ERNANDES APARECIDO SARAIVA

**DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO
RADOMO NO DIAGRAMA DE RADIAÇÃO
DE ANTENA DE RADAR METEOROLÓGICO**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Elétrica com ênfase em Telecomunicações,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Horácio Tertuliano Filho, Ph.D.

CURITIBA

2006

ii

DEDICATÓRIA

A minha amada amiga, companheira e esposa Betinha e a meus filhos Thiago Henrique (in memoriam), Callebe Vinícius, Livia Cristina e Lara Evelin. Pelo apoio e incentivo constantes.

AGRADECIMENTOS

Durante a elaboração deste trabalho, vários são os agradecimentos acumulados e a justiça seria plena somente na lembrança e citação de todos os que direta ou indiretamente colaboraram, e aos lapsos da memória 'quarentona' creditarei os possíveis esquecimentos.

Há muito o salmista parafraseou e exaltou toda a magnitude e esplendor do Criador de todas as coisas, num reconhecimento pela magnífica e maravilhosa concepção do ser humano, às quais também me regozigo e credito com máxima magnificência.

O justo e adequado uso da expressão 'et all' seria para:

Moises Fernandes de Souza e Ronald Ferdinand Stalk, colegas e companheiros incansáveis de trabalhos e viagens nas manutenções do radar, bem como no incentivo, paciência, apoio e ajuda no curso das disciplinas.

Ao professor, orientador e companheiro Horácio Tertuliano Filho, que com toda habilidade e perspicácia, encaminhou e incentivou o andamento desta realização, que nos momentos de quase abandono, foi propulsor, motivador e desafiando apontou o próximo passo que por fim culminou na conclusão deste trabalho.

Ao colega de trabalho e diretor do Instituto Tecnológico SIMEPAR, César Augustus de Assis Beneti, pelo apoio, incentivo e facilitação profissional, bem como pela permissão de uso da infra-estrutura operacional do Instituto na realização dos testes, ensaios e medições necessárias para obtenção dos resultados e conclusão desta dissertação.

Ao professor Wilson Artuzi Junior, pela orientação adicional e especial atenção em sugestões de testes e validação de resultados. A secretaria do curso de pós-graduação, na figura da sempre profissional Raquel, atenta às necessidades e ao dispor em soluções e encaminhamentos pertinentes.

***“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais volta ao seu tamanho original.”***

Albert Einstein

RESUMO

O equipamento de Radar Meteorológico, inicialmente se defrontou com uma dificuldade inerente à concepção de seu principal elemento, a antena, que até os dias de hoje é algo desejável de melhorias. O indesejável 'lóbulo lateral' se faz presente, em função de ser parte da física imutável na concepção de um refletor parabólico. Com o propósito único de proteção à degradação ambiental e neutralizar a carga de vento no refletor parabólico, instala-se sobre a antena o radomo, que se comporta como um anteparo à propagação de ondas eletromagnéticas, acarretando alterações nos sinais detectados e conseqüentemente nos produtos gerados. O Instituto Tecnológico SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Estado do Paraná – Brasil, opera um Radar Meteorológico Doppler – DWSR-95-S, instalado no município de Teixeira Soares – PR, à 110 km à oeste da região metropolitana de Curitiba-PR, com refletor parabólico de 8,20m com alimentação central. O diagrama de radiação da antena fornecido pelo fabricante do equipamento *Enterprise Electronics Corporation* (Alabama/USA) foi obtido sem a instalação do radomo de 10,62m que protege o conjunto pedestal e antena. A importante informação, qualificativa de eficiência do radar, ficou totalmente prejudicada, pois não foi devidamente quantificada. A influência do radomo no padrão de radiação da antena foi desconsiderada. Esta dissertação evidencia com clareza os efeitos indesejáveis ocasionados pelos lóbulos laterais incrementados pela influência do radomo no diagrama de radiação do refletor do radar meteorológico Doppler DWSR-95-S. Detalha a metodologia utilizada nas medidas do padrão de radiação em campo próximo e campo distante, apresentando a real influência do radomo no nível relativo do lóbulo lateral (RSL); na abertura do feixe; no espalhamento da energia radiada e conseqüente deficiência na capacidade de detecção do radar. Os resultados obtidos comprovam a dispersão no padrão de radiação da antena; incremento de 6,9 dB no RSL; incremento em função da distância na altura da base, do topo e na altura da coluna vertical, bem como na refletividade final dos volumes detectados.

Palavras-chave: Padrão de Radiação, Nível Relativo do Lóbulo Lateral (RSL), Antena, Radomo, Radar Meteorológico.

ABSTRACT

The Weather Radar initially was confronted with an inherent difficulty to related of its main element, the antenna that until the present is something desirable of solution or at the very least of improvements. The theories and technologies used in the construction of an antennas have evolved, but the undesirable side lobes are always presents since it is a part of the invariant physics in the conception of a parabolic reflector, aggravated in that they use central feeding. Designed to protect ambient degradation and to neutralize the wind load on the parabolic reflector, a radome is used, it bulkhead that behaves as affect the electromagnetic propagation, causing changes in the detected signals and consequently the generated products. The Meteorological System of Parana State in Brazil (SIMEPAR) operate one Doppler Weather Surveillance Radar S band (DWSR 95-S), instaled in Teixeira Soares city at 110 km west of Curitiba, Paraná State, Brazil. It was a parabolic reflector antenna with 27 feet. The radiation patterns of the antenna supplied by the manufacturer Entherprise Electronics Corporation (Alabama/USA) verified without the 35 feet radome installed only when at the final assembly of the radar system in Parana without any verifications of its affect in the radar signal. This manuscript details methodology used in to measure the near-field and far-field standard irradiation that indicates the influence of the radome on the antenna diagram. That consequents effects the capacity of detection of the weather radar.

Key-Words: Radiation Pattern, Relative Side Lobe Level (RSLL)|, Antenna, Radome, Weather Radar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de Blocos de Sistema Radar Básico [17].....	6
Figura 2 - Diagrama de Blocos de Sistema de Radar Doppler [17].....	8
Figura 3 - Gráfico tridimensional de padrão de radiação de antena de radar meteorológico [17].....	10
Figura 4 - (a, b e c) Polarização Circular, horizontal e vertical de antenas	12
Figura 5 - Ângulos de radiação (abertura de feixe) de antenas [16].....	13
Figura 6 - Gráfico de padrão de radiação de antena parabólica.....	15
Figura 7 - radomo para proteção de antenas - (www.radomes.org) [27].	16
Figura 8 - Geometria radomo ‘Casca de Laranja’ (esquerda) Iglu (direita)	18
Figura 9 - Geometria d radomo Quase-Aleatório irregular (esquerda) regular (direita).....	19
Figura 10 - Sombra de radomo 'Casca de Laranja' (esquerda) e 'Quase-Aleatório' (direita).....	19
Figura 11 - Padrão radiação Antena radar DWSR 95-S Medição de Fábrica– Corte em Azimute.....	34
Figura 12 - Padrão radiação Antena radar DWSR 95-S Medição de Fábrica– Corte em Elevação.....	35
Figura 13 - Antena de Radar com alimentador em Off set – Kavouras TDR (esquerda).....	37
Figura 14 - Campo de radiação de alimentador em Off set (esquerda).....	38
Figura 15 - Efeito reduzido do lóbulo lateral do alimentador em Off set (esquerda).....	39

Figura 16 - Efeito reduzido do lóbulo lateral no campo Doppler - Off set (esquerda).....	39
Figura 17 - Efeito indesejado do lóbulo lateral na coluna vertical – Center Feed.....	40
Figura 18 – Produto do radar DWSR 95-S – CAPPI 4km – Dia sem chuvas	41
Figura 19 – Produto do radar DWSR 95-S – RHI – Dia sem chuvas.....	42
Figura 20 – Altura média do feixe do radar em relação ao solo.....	42
Figura 21 – radomo quase-aleatório utilizado nos radares NEXRAD [2]... 	44
Figura 22 – Radomo pseudo-aleatório utilizado no radar DWSR 95-S.....	44
Figura 23 – Juntas da estrutura do radomo do DWSR 95-S.....	45
Figura 24 – Região dos campos de propagação de antenas – [2].....	51
Figura 25 - Destaque da calibração do gráfico do padrão de radiação - ganho da corneta padrão.....	54
Figura 26 - Diagrama em bloco das conexões do teste padrão da antena realizado em fábrica.....	55
Figura 27 - Aumento da resolução do gráfico para leitura do valor da abertura do feixe.....	56
Figura 28 - Infra-estrutura de campo montada para as medições.....	58
Figura 29 - Morfologia do campo de visada próximo e distante das medições do padrão.....	59
Figura 30 – Diagrama do sistema mecânico de rotação e elevação da antena do radar.....	60
Figura 31 – Motor de azimute (direita) e motor de elevação (esquerda) da antena do radar.....	61

Figura 32 – Peça elaborada para substituir o motor nos movimentos da antena.....	61
Figura 33 – Logística de Comunicação durante os testes e medidas.....	62
Figura 34 - Altimetria do local da medição de campo próximo – ponto 01.	63
Figura 35 – Gráfico de visada das antenas em campo próximo com zona de Fresnel liberada.....	64
Figura 36 – Visada das antenas em campo próximo de propagação (Fresnel)	64
Figura 37- Altimetria do local de medição de campo distante – ponto 02... 	65
Figura 38 – Gráfico de visada das antenas em campo distante com zona de Fresnel liberada.....	66
Figura 39 – Visada das antenas em campo distante de propagação (Fraunhofer).....	66
Figura 40 – Diagrama da configuração dos equipamentos adotada nas medições [2].....	68
Figura 41 – Tela do EDGESYS de valores de refletividade em dBZ.....	69
Figura 42 - Zoom da tela de apresentação do software EDGESYS.....	70
Figura 43 – Gráfico das medições em campo próximo corte em azimute....	75
Figura 44 – Gráfico das medições em campo próximo corte em elevação... 	76
Figura 45 – Gráfico das medições em campo distante corte em azimute....	76
Figura 46 – Gráfico das medições em campo distante corte em elevação....	77
Figura 47 – Gráfico do padrão de radiação do DWSR 95-S com radomo – Corte em azimute.....	79
Figura 48 – Gráfico do padrão de radiação do DWSR 95-S com radomo – Corte em elevação.....	79

Figura 49 - Gráfico do padrão de radiação do DWSR 95-S sem radomo – Corte em azimute.....	80
Figura 50 - Gráfico do padrão de radiação do DWSR 95-S sem radomo – Corte em elevação.....	81
Figura 51 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em azimute.....	83
Figura 52 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em elevação.....	83
Figura 53 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em elevação.....	85
Figura 54 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em elevação.....	86
Figura 55 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em elevação.....	87
Figura 56 – Incremento do radomo no nível relativo do lóbulo lateral.....	88
Figura 57 – Incremento do primeiro lóbulo lateral na refletividade (precipitação).....	89
Figura 58 - Comparação da distribuição de energia - Medições de fábrica e campo – Corte em Azimute.....	90
Figura 59 - Comparação da distribuição de energia - Medições fábrica e campo – Corte Azimute.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

SIGLA	DESCRIÇÃO
A/D	Analogico/Digital
AEW	Airbone Early Warning
AFC	Antennas For Communications
AGC	Automatic Gain Control
AMP	Ângulo de Meia Potência
ARCA	Analysis Of radomo Covered Antennas
ARS	Antenna radomo System
AUT	Antenna Under Test
BSC	Básic Scattering Code
BW	Bean Width
CAPPI	Constant Altitude Plan Position Indicator
CCW	Counter Clock Wise
COHO	Coherente Oscilator
CW	Counter Wise / Continus Wave
dB	Decibel
dBm	Decibelímetro – unidade de media de potência logarítima relativa
dBZ	Decibel de Refletividade – unidade de medida logarítimica relativa
DOPPLER	Nome Popular do Radar Meteorológico Coerente
DSF	Dielectric Space Frame
DWSR	Doppler Weather Surveillance Radar
EEC	Enterprise Electronics Corporation
EHF	Extreme High Frequency
EM	Eletromagnetic
FDTD	Finite Difference Time Domain
FFT	Fast Fourier Transform
FI	Freqüência Intermediária
FNBW	First Null Beam Width
FRP	Freqüência de Repetição de Pulsos
GPS	Global Positioning System
HPBW	Half Power Beam Width
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IPMet	Instituto de Pesquisas Meteorológicas
IRF	Induced radomo System
MDS	Minimum Detected Signal
MSF	Metal Space Frame
NEXRAD	Next Generation Radar
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administrations
NWS	National Weather Service

OEM	Onda Eletromagnética
PAA	Phased Antenna Array
PIXEL	Picture Element
PL	Pulse Length
PPI	Plan Position Indicator
PPS	Pulso Por Segundo
PRF	Pulse Repetition Frequency
PW	Pulse Width
RADAR	RAdio Detection And Ranging
Radomo	RAdar DOMO
RF	Rádio Freqüência
RHI	Range Height Indicator
ROC	Receive Operating Characteristic
RPM	Rotação Por Minuto
RSL	Relative Side Lobe Level
SA	Scientific Atlanta
SHF	Super High Frequency
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
STALO	Stable Oscillator
STC	Sensitive Time Control
TP	Transmitância de Potência
T/R	Transmitter/Receiver
UHF	Ultra High Frequency
USA	United States of America
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	2
2.OBJETIVO GERAL:.....	3
1..OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
3.ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
CAPÍTULO 1.....	4
ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO RADAR METEOROLÓGICO.....	4
1.1.INTRODUÇÃO.....	4
1.2.CONCEITOS BÁSICOS DO RADAR METEOROLÓGICO.....	5
ANTENAS DE RADAR METEOROLÓGICO.....	8
POLARIZAÇÃO.....	10
GANHO.....	12
ABERTURA DE FEIXE.....	13
PADRÃO DE RADIAÇÃO.....	14

RADOMO.....	15
ASPECTOS GERAIS DO PROJETO TEÓRICO DE UM RADOMO.....	17
SOMBREAMENTO DA JUNÇÃO DA ESTRUTURA.....	17
DEGRADAÇÃO DO PADRÃO DA ANTENA.....	21
1.9.REFLETIVIDADE DO RADAR.....	21
1.10.EQUAÇÃO RADAR.....	22
FORMA COMPACTA DA EQUAÇÃO RADAR.....	24
1.11.CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO RADAR DWSR 95-S.....	26
CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
CAPÍTULO 2.....	32
CARACTERIZAÇÃO DO RADAR METEOROLÓGICO DWSR 95-S....	32
INTRODUÇÃO.....	32
CONFIGURAÇÃO E ANÁLISE TÉCNICA.....	32
EFEITOS DOS LÓBULOS LATERAIS NA PRECIPITAÇÃO.....	35
O RADOMO UTILIZADO NO DWSR 95-S.....	43
CONCLUSÃO.....	45
46	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

CAPÍTULO 3.....	48
DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO RADOMO NA ANTENA DO RADAR DWSR 95-S.....	48
INTRODUÇÃO.....	48
CONFIRMAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO RADOMO.....	48
CAMPOS DE MEDIDA DE PADRÃO DE RADIAÇÃO.....	49
MEDIDAS DO PADRÃO DE RADIAÇÃO EM CAMPO.....	52
MEDIDAS DO PADRÃO DE RADIAÇÃO NA FÁBRICA.....	53
INFRA-ESTRUTURA DE MEDIDAS DE CAMPO.....	57
SISTEMA DE SERVO MECANISMO DA ANTENA.....	59
INFRA-ESTRUTURA FÍSICA-HUMANA UTILIZADA NO TESTE.....	62
MEDIDAS DE CAMPO PRÓXIMO.....	63
MEDIDAS DE CAMPO DISTANTE.....	65
DETALHAMENTO DOS PRECEDIMENTOS DE TESTE.....	67
METODOLOGIA DE LEITURA DOS VALORES MEDIDOS.....	68
CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	71
CAPÍTULO 4.....	74
ANÁLISE DE RESULTADOS	74
INTRODUÇÃO.....	74

ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	74
VALIDAÇÃO DAS MEDIÇÕES.....	77
SEGUNDA MEDIÇÃO DE CAMPO DISTANTE.....	78
COMPARAÇÃO DAS MEDIÇÕES – FÁBRICA – CAMPO.....	81
INFLUÊNCIA DO LÓBULO NA ALTURA DA COLUNA VERTICAL.....	84
INCREMENTO DO LÓBULO NA PRECIPITAÇÃO.....	87
DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA	89
COMPROVAÇÃO DA DEFICIÊNCIA OBSERVADA.....	91
CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	94
CAPÍTULO 5	96
CONCLUSÃO	96
INTRODUÇÃO.....	96
TRABALHOS FUTUROS.....	96
CONCLUSÃO FINAL.....	97
REFERÊNCIA GERAL.....	99
ANEXO I.....	107
ANEXO II.....	108
ANEXO III.....	109

INTRODUÇÃO GERAL

O radar, abreviatura derivada da expressão, em inglês, “*Radio Detection And Ranging*”, tem origem antiga. A formulação matemática básica é encontrada nas Equações de Maxwell, apresentadas em 1871, permitindo o aprofundamento dos estudos dos fenômenos de propagação das ondas eletromagnéticas. As ameaças de guerra na década de 1930 e o desenvolvimento da magnetron¹ em 1940, possibilitou avanços nas pesquisas em torno do radar e em 1948 estabeleceu-se a primeira relação quantitativa entre medidas de radar e intensidade de precipitação (chuva) em superfície. A partir de 1974, A Fundação Educacional de Bauru, hoje, o IPMet - Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, situado em [Bauru](#) – SP, se tornou o pioneiro no estudo da meteorologia com radar no Brasil.

O Radar Meteorológico, inicialmente se defrontou com uma dificuldade inerente à sua concepção, que até os dias de hoje, tem sido considerado como algo a ser solucionado ou no mínimo de avanços e melhorias. Trata-se da indesejável influência dos 'lóbulos secundários' fisicamente presentes no campo de radiação de qualquer antena, agravado nas que utilizam refletor parabólico com alimentação central. Adicionalmente, este é influenciado pelo radomo de proteção da antena que altera os sinais detectados. A tecnologia utilizada na construção de antenas evoluiu, mas o indesejável lóbulo lateral se faz sempre presente, em função de ser parte da física imutável na concepção de um refletor parabólico, agravado nos refletores com alimentação central.

As citadas influências indesejáveis indubitavelmente são incrementados ao serem protegidas com um radomo, que inicialmente se comporta como um anteparo à propagação de ondas eletromagnéticas e que interfere diretamente no padrão de radiação da antena. A antena é um componente ou parte vital de um radar meteorológico, pois o equipamento só pode ser eficiente ao que se propõe por meio de boa concepção e funcionamento de sua antena, que atua como transmissora e receptora. Os lóbulos secundários, localizados a alguns graus de abertura em relação ao lóbulo principal, irradiam energia suficiente para detectar 'alvos'. O sinal

¹ *Válvula capaz de produzir pulsos de alta frequência e elevada potência.*

resultante da detecção é considerado como sendo parte dos sinais provenientes dos 'alvos' detectados pelo lóbulo principal.

Este efeito gera considerável erro de incremento do nível e localização dos sinais detectados, bem como aumento da altura total da coluna vertical do volume de chuva. O Instituto Tecnológico SIMEPAR opera um sistema de radar meteorológico DWSR 95-S (*Doppler Weather Surveillance Radar*), que utiliza refletor parabólico com alimentação central e protegido por um radomo. A real influência deste radomo no conjunto irradiante do equipamento não foi avaliado pelo fabricante do radar a EEC (*Enterprise Electronics Corporation*), pois quando das medidas do padrão de radiação da antena realizado em fábrica, a antena não estava com a proteção do radomo, que foi instalado somente na montagem final do equipamento no sítio operacional no Brasil e portanto, ficou sem a devida avaliação da influência deste radomo no conjunto como um todo

Neste contexto de concepção e quantificação de valores se situa este plano de estudos, onde se caracteriza o problema estudado para evidenciar com clareza os efeitos indesejáveis do radomo no diagrama de radiação da antena e consequentemente na capacidade de detecção de sinais. A metodologia de medidas foi definida e detalhada para se obter um novo padrão de radiação da antena do Radar com o radomo, de modo a obter o padrão da antena do radar meteorológico e determinar a influência do radomo no nível relativo do lóbulo lateral (RSL), na abertura do feixe de radiação e no espalhamento da energia radiada pelo sistema de radar meteorológico DWSR 95-S.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Conhecer a influência do radomo no diagrama de radiação do refletor parabólico com alimentação central do radar meteorológico Doppler DWSR 95-S fabricado pela *Enterprise Electronics Co.* (EEC), com foco no nível relativo do lóbulo lateral, na abertura do feixe e no espalhamento da energia radiada.

2. OBJETIVO GERAL:

Este trabalho objetiva estudar a influência do radomo no diagrama de radiação de antena de radar meteorológico.

1.. OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar o efeito do radomo no diagrama de radiação da antena do radar meteorológico Doppler DWSR 95-S.

3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O CAPÍTULO 1 traz aspectos fundamentais de um sistema de radar meteorológico, apresentando o radar operado pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), bem como suas características técnicas e potencialidades. Caracteriza em detalhes os problemas apresentados pelo sistema e aponta para a necessidade da realização deste trabalho.

O CAPÍTULO 2 caracteriza detalhes da configuração obtida nas características técnicas do radar meteorológico DWSR 95-S, com destaque para a consequência nos dados medidos e produtos gerados.

O CAPÍTULO 3 apresenta os detalhes das medidas de campo realizadas e dificuldades encontradas. As adaptações necessárias para a referida medição, bem como os detalhes de toda a logística e metodologia utilizada na elaboração das medições.

O CAPÍTULO 4 apresenta a análise dos resultados da medição do padrão de radiação da antena do radar DWSR 95-S, com o radomo e compara as medições de fábrica com as de campo e destaca a influência do radomo no padrão de radiação da antena do radar.

O CAPITULO 5 conclui a dissertação com as considerações finais e proposta de trabalhos futuros e necessidades operacionais a serem adotadas para melhor utilização do sistema de radar DWSR 95-S.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO RADAR METEOROLÓGICO

Este capítulo tutorial caracteriza os aspectos fundamentais do sistema de radar meteorológico relevantes ao foco do problema estudado e avaliado no trabalho. Detalhamento das características técnicas do sistema de radar DWSR 95-S e dentro a composição estrutural do equipamento radar, enfatiza-se unicamente o conjunto antena e radomo, apresentando seus conceitos básicos e fundamentação necessária para a clara caracterização do problema observado e estudado neste trabalho.

1.1.INTRODUÇÃO

O radar meteorológico Doppler DWSR 95-S, é o principal sistema de sensoriamento remoto de medida de precipitação para o monitoramento hidrometeorológico do Estado do Paraná. Instalado à 120km da capital Curitiba, no município de Teixeira-Soares (25 graus 30', 19,13" Sul e 50 graus 21' 40,79" Oeste), este equipamento foi adquirido pelo IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) no ano de 1996 e operacionalizado pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR. Medidas de precipitação e monitoramento de eventos atmosféricos severos são atividades cotidianas em centros meteorológicos operacionais a exemplo do SIMEPAR que tem o radar como principal ferramenta de suporte às atividades operacionais.

As estimativas de precipitação obtidas pelo radar meteorológico são resultados de medidas indiretas do sinal detectado que necessita de transformação para o uso adequado. Esta transformação exige uma boa e detalhada calibração dos parâmetros que alimentam fórmulas, equações e algoritmos de transformação das referidas medidas. O conhecimento de constantes e características técnicas do equipamento de radar são essenciais para a correta transformação e geração de produtos meteorológicos confiáveis. Os sistemas de radar meteorológico utilizam a técnica de modulação de pulsos para transmissão, o que permite que um mesmo conjunto antena refletor atue como transmissor e receptor.

Uma combinação inadequada de parâmetros ou configuração do conjunto transmissor antena, reflete diretamente na recepção da antena e, conseqüentemente, as medidas são diretamente afetadas.

Os detalhes e características técnicas do conjunto transmissor, receptor e antena do DWSR 95-S não consideram o efeito da proteção contra os efeitos do ambiente e a carga do vento no seu refletor parabólico de 8,20m de diâmetro. Tal

estrutura protetora e confinante, denominado e conhecido como radomo se comporta como um anteparo à frente da antena, que adiciona ao conjunto antena/refletor, perturbações indesejáveis no campo de radiação tais como: deflexão no espalhamento, distorção na abertura do feixe e incremento no nível relativo dos lóbulos laterais e conseqüentemente o decremento das potencialidades totais do equipamento. Este capítulo apresenta detalhes técnicos gerais do radar meteorológico, com enfoque exclusivo nas partes do conjunto responsáveis diretamente pela deficiência do equipamento para caracterizar o problema.

1.2. CONCEITOS BÁSICOS DO RADAR METEOROLÓGICO

As partes básicas de um sistema de radar mono-estático ou pulsado, que utiliza uma única antena como transmissora e receptora, caracteriza o conceito básico de radar [1], [7], [16], [20]. O sistema mostrado na figura 1 apresenta os principais módulos e componentes, cujas funções podem ser sucintamente definidas como:

FONTE (unidade de força): fornece todas as voltagens AC e DC necessárias para a operação dos componentes do sistema;

MODULADOR: dispara o transmissor e, simultaneamente, envia pulsos de sincronização para o processamento de sinais e outros componentes. Circuitos de tempo estabelecem a frequência de repetição de pulsos (FRP) na qual o modulador gera seus pulsos de disparo e de sincronização;

TRANSMISSOR: gera energia em radio frequência (RF), sob a forma de pulsos curtos de alta potência. A chave duplex T/R controla os ciclos de transmissão de pulsos e de recepção do sinal eco. A caracterização do transmissor se dá principalmente pela sua potência de pico e frequência de repetição e largura dos pulsos.

SISTEMA DE ANTENA: A antena é caracterizado pelo ganho e abertura de feixe, verificados por meio de teste de padrão de radiação da antena quando fabricada. Recebe os pulsos de energia RF do transmissor e os irradia em um feixe altamente direcional. Ademais, recebe o sinal eco refletidos, enviando-os para o receptor;

RECEPTOR: Caracterizado principalmente pela faixa de sintonia, figura de ruído e frequência da portadora, amplifica o sinal eco refletidos pelos 'alvos', reproduzindo-os como pulsos de vídeo, e os entrega para o processador de sinais;

PROCESSAMENTO DE SINAIS E VISUALIZAÇÃO: De forma geral, o processador de sinais é constituído por conversores A/D (Analogico/Digital) e digitalizam e

processamento para rejeição de sinal de eco de alvos indesejados (*clutter*), rejeição do ruído e detecção de alvos. Os produtos resultantes podem apresentar informações em coordenadas polares ou cartesianas, permitir mudanças de escalas e representar múltiplas informações e disponibilizar os dados convertidos para serem processados em inúmeros aplicativos (*software*), obtendo variados resultados e produtos em função dos sinais eco detectados e coletados pelo sistema radar [3].

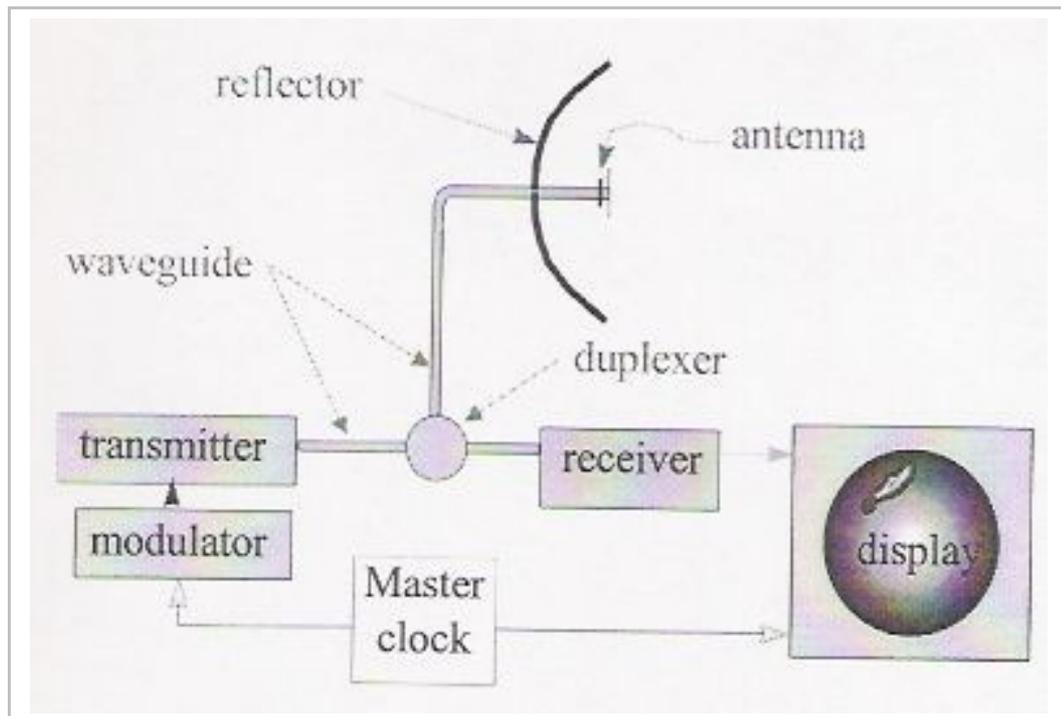


Figura 1 - Diagrama de Blocos de Sistema Radar Básico [17]

A grande necessidade de se detectar e quantificar chuvas levou a especialização do equipamento radar em Meteorologia e se desenvolveu o sistema denominado “RADAR METEOROLÓGICO”. Concebidos com alta sensibilidade de detecção com finalidade específica de monitorar a atmosfera num raio padrão de até 450km, detectam a distribuição em taxas de chuva. Atuam principalmente em três faixas de frequência de microondas denominadas bandas operacionais S, C e X, tabela 1, e embora especializados em detecção de gotas e cristais de gelo na atmosfera, tem características diferenciadas para o tipo de chuva a monitorar.

Tabela 1 - Bandas e faixas de freqüência operacional de Radares

FAIXA		FREQÜÊNCIA (MHz)	COMPRIMENTO DE ONDA (cm)
P	(100 cm)	225 a 390	133 a 77
L	(25 cm)	390 a 1650	77 a 18,2
S	(10 cm)	1650 a 5200	18,2 a 5,8
C	(6 cm)	3900 a 6200	7,7 a 4,8
X	(3 cm)	5200 a 11900	5,8 a 2,5
J	(2,25 cm)	11900 a 14250	2,5 a 2,1
K	(1,25 cm)	20500 a 26500	1,5 a 1,1
Q	(0,75 cm)	33300 a 37500	0,9 a 0,8
V	(0,50 cm)	50000 a 75000	0,6 a 0,4
O	(0,30 cm)	99900 a 112500	0,33 a 0,26

A tabela 1 acima, apresenta as bandas de operação dos equipamentos de radar, com as faixas de freqüência e respectivos comprimentos de onda. Os radares meteorológicos de bandas K e X, em função do comprimento de onda menor são utilizados principalmente para o estudo da física das nuvens compostos de gotículas e gotas de água de pequenas dimensões. Os radares que operam nas bandas C e S são utilizados para monitoramento de precipitação, diferenciando-se basicamente na capacidade do maior alcance nos equipamentos que operam na banda S [17]. O radar meteorológico pode ser Doppler, caracterizado pela detecção e medição do movimento radial do alvo detectado associado às chuvas e os movimentos internos dos volumes detectados. Este é processado conjuntamente com o sinal eco recebido a partir da variação da fase da onda do sinal emitido em comparação com a fase do sinal recebido e que possibilita a determinação do movimento radial do alvo detectado.

A figura 2 apresenta o diagrama em bloco de um radar Doppler, com os blocos responsáveis por manter a fase do sinal emitido, que comparado com a fase do sinal detectado, possibilita o processamento das informações relacionadas com a fase da onda, onde o aumentar ou diminuir da fase determina se o alvo detectado se desloca radialmente em direção ou para fora do do radar meteorológico.

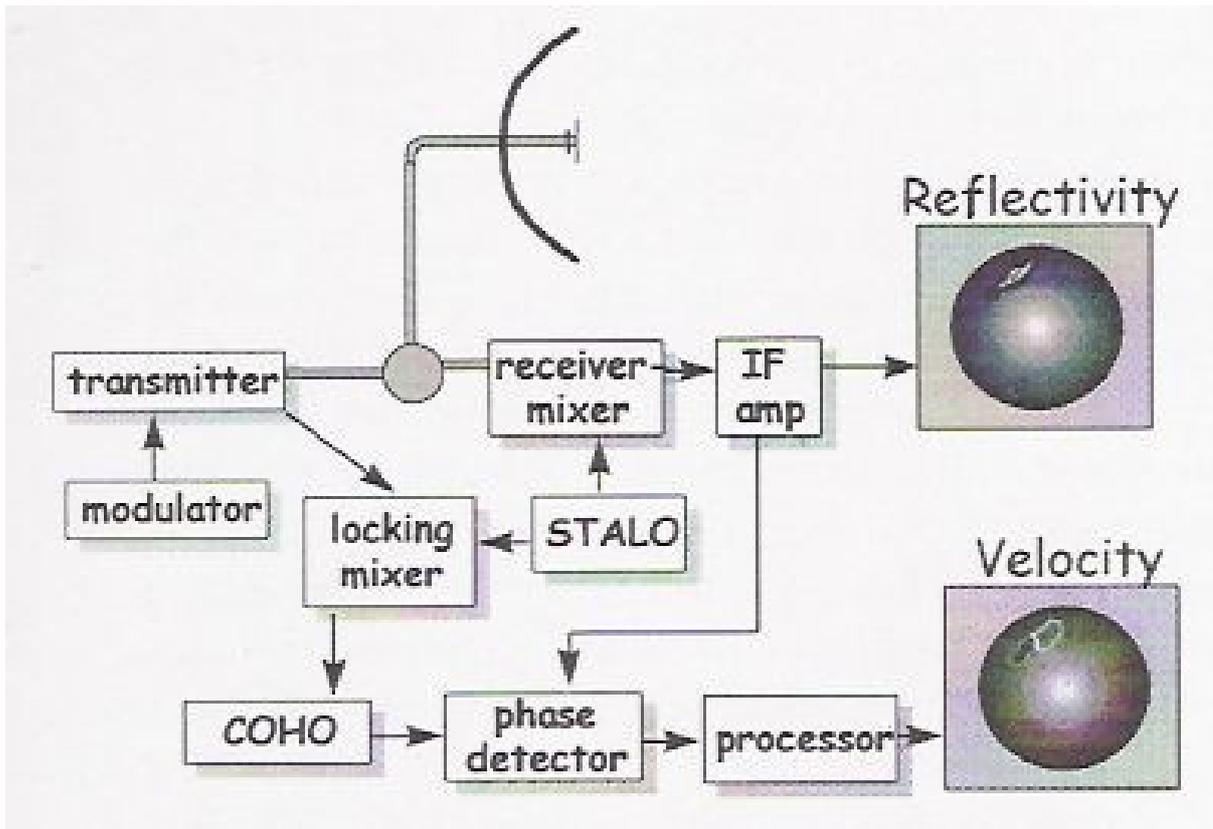


Figura 2 - Diagrama de Blocos de Sistema de Radar Doppler [17]

O radar Doppler permite coerência do sinal com sincronismo de fase entre os pulsos de RF e radar Doppler com a utilização de oscilador de potência Magnetron, que não mantém o sincronismo de fase entre os pulsos, sendo necessário artifícios para manter a fase da portadora e o sincronismo necessário na recepção, detalhes técnicos abordados e exemplificados no apêndice I.

1.3.ANTENAS DE RADAR METEOROLÓGICO

Basicamente, antenas são dispositivos em forma de fios, discos ou refletores, primariamente propostos para receber e transmitir ondas eletromagnéticas. O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), define o termo padrão “antena” como um meio para irradiar ou receber potência de rádio [5].

A antena de um radar meteorológico possui características que habilitam a iluminar e detectar um alvo meteorológico, ou seja, gotículas de água e cristais de gelo. A maioria dos radares meteorológicos utiliza refletores parabólicos. O teste padrão de radiação é circular e cônico com abertura de feixe na ordem de 1 à 2 graus. [17]

Caracterizada principalmente pela sua diretividade e ganho G_D , potência de ganho G e efetivamente pela sua abertura A_e . O termo ganho é usado para descrever a habilidade da antena/refletor em concentrar e transmitir energia em uma certa direção. O ganho de potência e diretividade da antena de radar meteorológico é o mesmo descrito para as antenas parabólicas, medidos 3dB abaixo de seu valor máximo. [7]

Expressões matemáticas podem descrever o padrão de radiação da maioria das antenas, mas soluções aproximadas são freqüentemente utilizadas para descrever as características das antenas. Atualmente, existem ferramentas de visualização com resultados numéricos utilizados para visualizar o padrão da antena de forma tridimensional, bem como estudar características e parâmetros de fabricação e padrão de radiação. A figura 3 apresenta uma amostra do padrão de radiação de antena de radar em 3D [17].

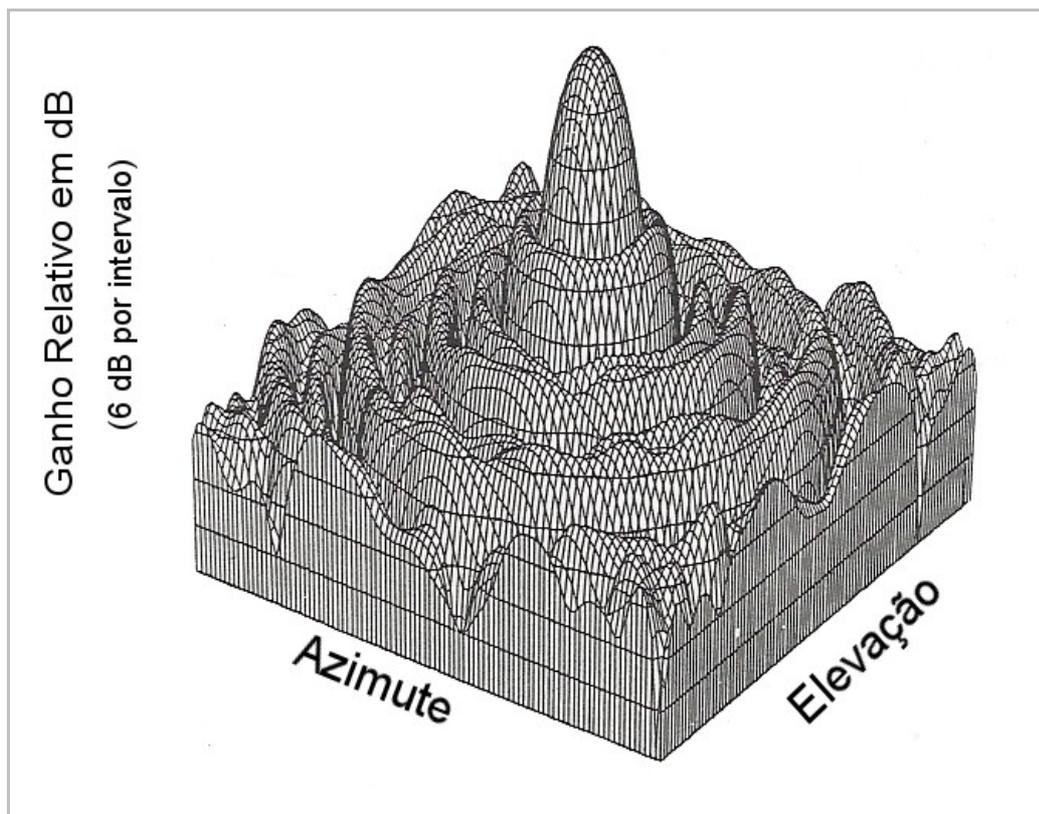


Figura 3 - Gráfico tridimensional de padrão de radiação de antena de radar meteorológico [17]

A figura 3 apresenta os dados obtidos no teste padrão de radiação da antena em azimute e em elevação plotados em função da abertura do feixe conjuntamente com os ganhos observados, gerando um gráfico tridimensional que facilita se observar a forma dos lóbulos de radiação da antena.

1.4.POLARIZAÇÃO

Em termos simples, a polarização de uma antena define a direção do vetor \underline{E} do campo eletromagnético por ela irradiado com relação a um plano de referência. Na grande maioria das situações, o plano de referência é a superfície terrestre. A forma mais geral de polarização é a denominada “Polarização Elíptica”, quando o vetor \underline{E} gira em um plano perpendicular à direção de propagação da onda eletromagnética. Na figura 4(a) tem-se uma onda eletromagnética com polarização elíptica se propagando na direção Z e o vetor \underline{E} (vermelho) descreve uma hélice de seção transversal elíptica (azul) [2].

No plano uv , localizada em uma determinada posição do eixo z e perpendicular ao mesmo, o vetor \underline{E} descreve uma elipse à medida que uv é deslocada ao longo de z . Quando a seção transversal da hélice descrita por \underline{E} é um círculo, a polarização é denominada “circular” [21].

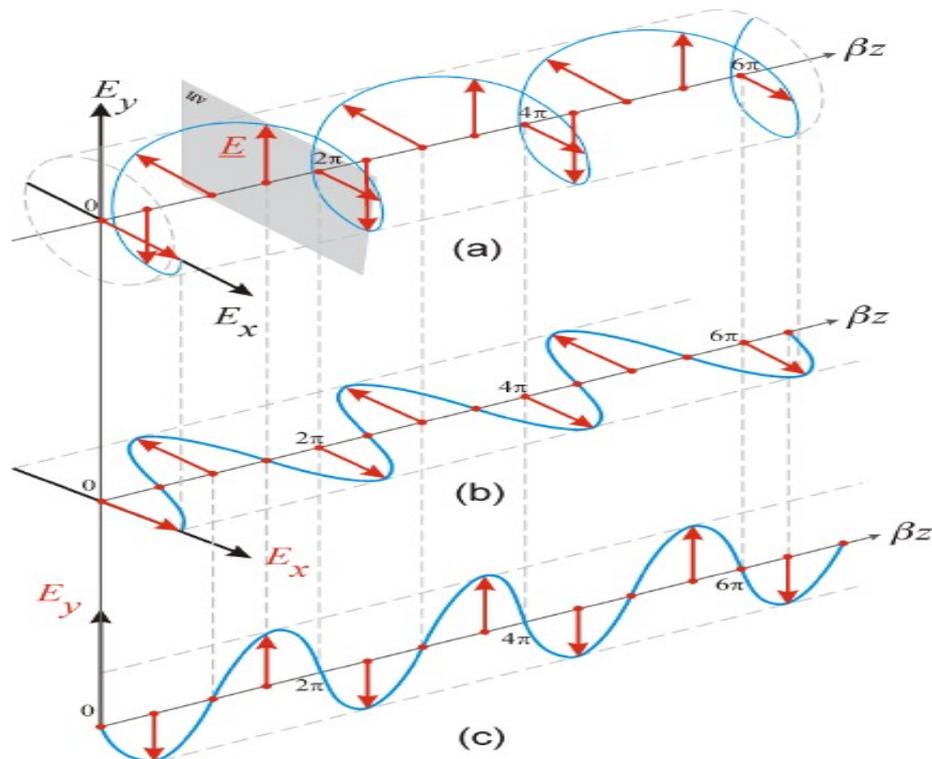


Figura 4 - (a, b e c) Polarização Circular, horizontal e vertical de antenas

A figura 4 (b) e (c) são particularidades de (a), sendo denominadas de polarização linear “horizontal” e “vertical” respectivamente. Na polarização linear, horizontal ou vertical, é comum associar-se a orientação da antena em relação ao solo. Assim, por exemplo, um monopolo aterrado para radiodifusão apresenta polarização vertical porque o campo elétrico \underline{E} varia na direção vertical. As ondas eletromagnéticas emitidas por uma antena de radar, com vetor do campo elétrico direto \underline{E} e de campo magnético direto \underline{H} são constantemente orientadas por polarização linear. [5] Os vetores \underline{E} e \underline{H} são sempre perpendiculares e na direção de propagação. Todas as demais formas de polarização possíveis para uma antena são casos particulares da polarização elíptica.

1.5.GANHOS

A antena emite ondas eletromagnéticas no espaço livre a frente de sua abertura, que ajusta a impedância natural e tem efeito direcional. A quantidade de "ganho da antena" está relacionada ao efeito direcional do feixe emitido. Com ângulo de abertura espacial mais estreito, a densidade de potência nos lóbulos é mais elevada, amplificando o sinal emitido. O ganho da antena é melhor para uma maior área de abertura 'A' e do menor comprimento de onda. O ganho 'g' de uma antena é a relação de potência recebida pela antena (P_1) em um ponto no espaço, no centro do eixo no ponto de maior potência, pela potência medida no mesmo ponto por um irradiador isotrópico (P_2). Seu valor é adimensional, pois os valores de potência se cancelam na divisão, sendo definida como [17]:

$$g = \frac{P_1}{P_2} \quad (1)$$

O ganho de uma antena está diretamente relacionado com a sua diretividade, que mede até que ponto uma antena é capaz de concentrar energia, emitida ou recebida, dentro de um ângulo sólido. Quanto menor o ângulo sólido do cone, ou abertura de feixe, dentro do qual a antena é capaz de concentrar a energia irradiada ou recebida, maior é a sua diretividade e conseqüente ganho [22].

1.6.ABERTURA DE FEIXE

Uma quantidade característica para descrever o efeito direcional de uma antena, está no seu ângulo de radiação ou a largura medida na metade de seu valor máximo. Definido como o ângulo do cone cuja medida da densidade de potência é 3dB abaixo da densidade de potência máxima. Quanto menor o ângulo da radiação, maior a área da abertura, isto é, maior o ganho da antena. A figura 5 apresenta gráfico de estimativa de abertura de feixe ou ângulo de radiação aplicando a equação 1.1 [16].

$$\varphi \cong 70^\circ * \frac{\lambda}{D} \quad (1.1)$$

Onde D é igual ao diâmetro da antena e o ângulo de radiação aproximado apresentado no eixo 'y' do gráfico representa a abertura do feixe de radiação à metade da potência máxima medida no lóbulo principal, isto é, 3dB abaixo do ganho nominal da antena [2].

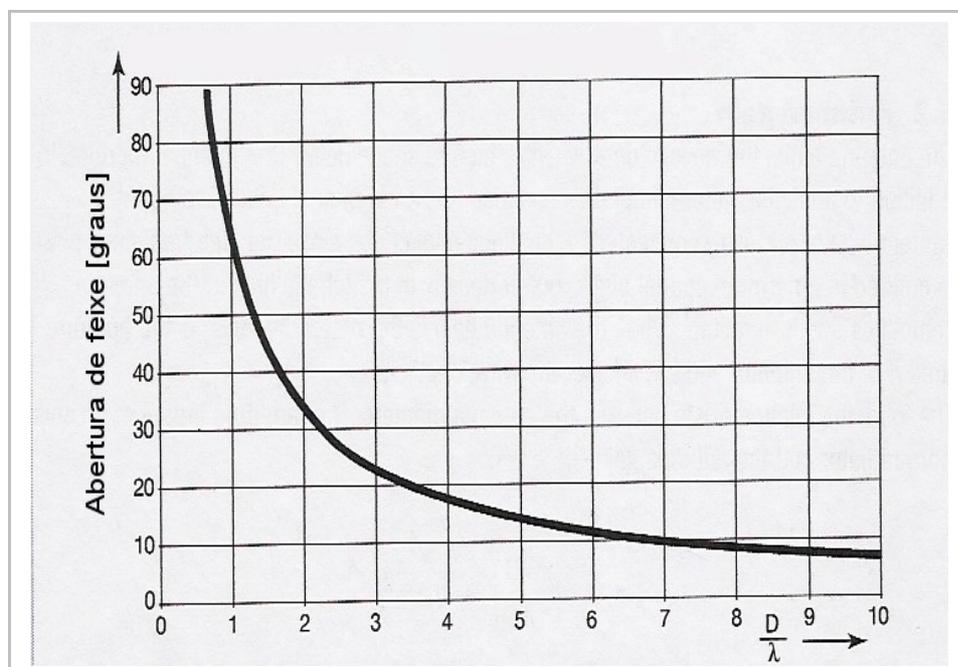


Figura 5 - Ângulos de radiação (abertura de feixe) de antenas [16]

Antenas de alta diretividade e conseqüente ganho elevado, em geral apresentam lóbulo principal estreito e lóbulos secundário reduzidos, como no caso de antenas

parabólicas utilizadas em sistemas de radar meteorológico [7]. Os conceitos físicos e matemáticos de cálculo de diretividade ou abertura de feixe e conseqüente, ganho, são conhecidos.

1.7.PADRÃO DE RADIAÇÃO

O padrão de radiação ou padrão direcional das antenas descrevem a distribuição da densidade de potência sobre o ângulo sólido. Numa primeira aproximação isto pode ser entendido como a característica rotacional simétrica em volta da direção do lóbulo principal de radiação, que resulta no padrão direcional da antena, freqüentemente representado em gráfico bidimensional, exemplificado na figura 6.

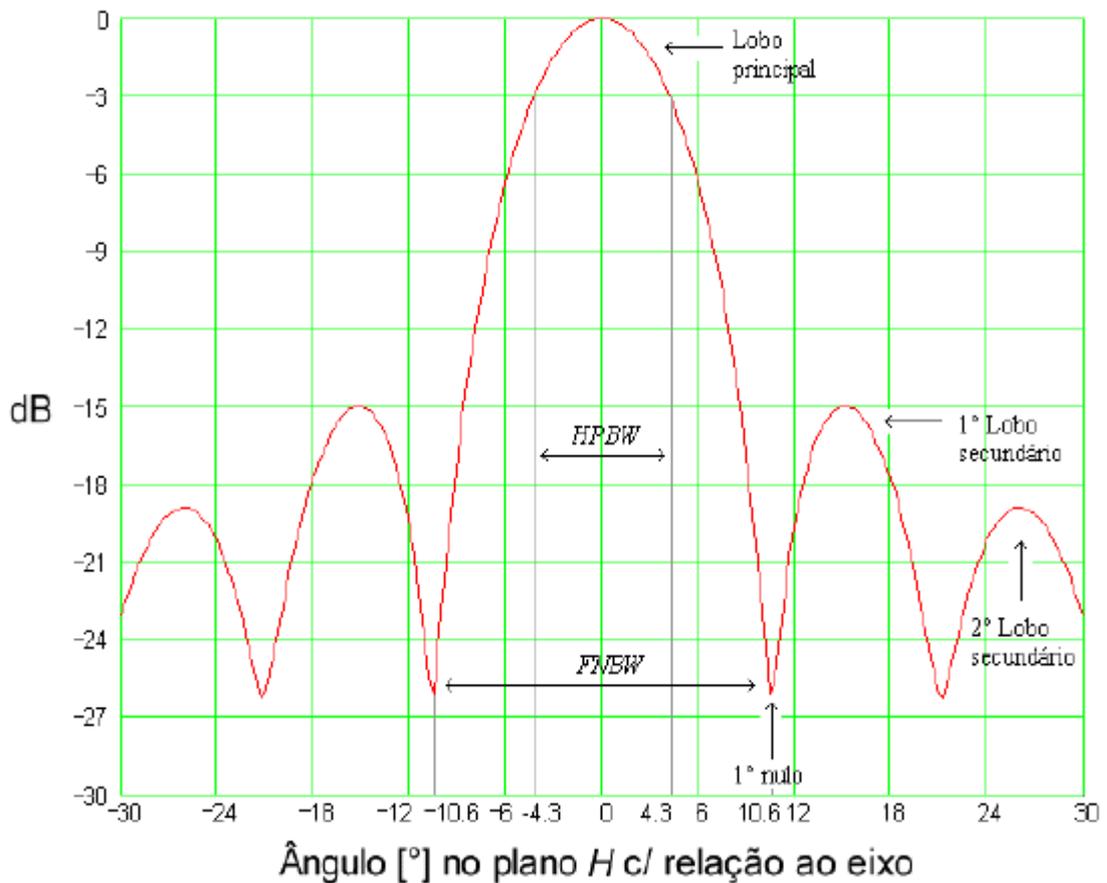


Figura 6 - Gráfico de padrão de radiação de antena parabólica

O lóbulo principal contém a direção de máxima radiação e qualquer outro lóbulo que não seja o principal é denominado de lóbulo secundário ou lateral. O HPBW (*Half Power Beam Width*) é denominado de largura do feixe ou ângulo de radiação

com centro no máximo da potência irradiada e medido 3dB abaixo. O FNBW (*First Null Beam Width*), é denominado de largura do feixe com centro no máximo de potência e medido no ponto de mínima potência irradiada, eventualmente nulo, podendo ocorrer em mais de um ponto [2], [5].

1.8.RADOMO

Os radomos são confinantes de antenas. As primitivas coberturas de curvatura côncava e contínua (i.e., abôbadas) usadas para abrigar antenas originaram a palavra inglesa “*radome*” na contração de duas outras, “*radar*” e “*dome*”, amostrado na Figura 7. O IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) define radomo como um invólucro agregado à antena visando, geralmente, proteger seu desempenho eletromagnético da degradação devido aos efeitos do ambiente físico onde se expõem [24]. Dos pontos de vista comercial e logístico, há de se considerar que um radomo apropriadamente desenvolvido pode vir a contribuir para minimizar os riscos de danos nos processos naturais do ambiente físico que estariam expostas as antenas.

Sua missão é cobrir e proteger as antenas de um sistema e interferir o mínimo possível no campo de radiação. Um radomo inadequado certamente afetará em demasia o sistema radiante de antena, principalmente o de radar meteorológico.



Figura 7 - radomo para proteção de antenas - (www.radomes.org) [27]

Em termos operacionais, a preocupação com o desempenho das antenas consiste no fato do radomo não ser completamente transparente a radiação da antena. Alguns dos efeitos indesejáveis são: deflexão do feixe, perda de transmissão, reflexão de potência, despolarização da antena, mudança de fase da onda e ruídos em geral [12].

A transparência do radomo à passagem da radiação e, por conseguinte, sua influência sobre o padrão de radiação da antena, pode ser avaliada a partir da transmitância de potência (T_p). Matematicamente, trata-se da razão entre as intensidades de pico de potência recebidas pela antena em teste de padrão de radiação com e sem o radomo. O desvio angular que o radomo ocasiona na direção de máximo ganho no diagrama de radiação da antena, pode ser descrito pelo erro de apontamento $\delta\beta$ medido em processo semelhante ao da transmitância de potência [12].

Resultados experimentais sugerem que esse parâmetro também é influenciado pelo tamanho da antena. A variação do $\delta\beta$ tem importância em sistemas adaptativos como nos refletores parabólicos dos radares. Nos casos onde $\delta\beta$ é fixo ou varia segundo uma taxa não randômica, é possível corrigir o problema mediante

a inclusão de tabelas de calibração com fatores levantados com medidas, aplicadas e tratadas nas rotinas do subsistema de processamento de sinais [8].

1.8.1.ASPECTOS GERAIS DO PROJETO TEÓRICO DE UM RADOMO

O projeto teórico de um radomo é um processo de análise e não de síntese, envolvendo muitas variáveis. Os parâmetros de desempenho do radomo são avaliados por métodos teóricos e numéricos mediante análise dos diagramas de radiação da antena enclausurada. A modelagem básica é simulada em termos da propagação de uma onda eletromagnética plana (OEM) e sua incidência sobre painéis dielétricos planos, averiguando-se a reflexão, refração e difração. Os radomos com perfil curvo devem ser analisados considerando-se sua superfície localmente plana em cada ponto (de acordo com a óptica geométrica) [12], [28].

Da teoria eletromagnética sabe-se que as propriedades de transmissão da placa dielétrica variam para com a frequência, o ângulo de incidência e a polarização da onda incidente. Cada painel do radomo é cercado por perímetro da flange que permite prender-se ao painel adjacente.

Após a união do conjunto de painéis, forma-se uma estrutura característica de parede, um escudo. A estrutura dos painéis do radomo estão à frente e no trajeto de propagação da antena protegida [15].

Em geral, maiores perdas são encontradas em estruturas de radomo maiores, que sombreia a abertura da antena e a energia dispersa-se para os lóbulos laterais da antena. A direção de deslocamento da energia depende do comprimento da sombra e da perda de transmissão do radomo e das posições e orientações dos painéis da estrutura que sombreiam o refletor [13].

1.8.2.SOMBREAMENTO DA JUNÇÃO DA ESTRUTURA

Um radomo perfeito, uma esfera de único painel, cortado ao meio possui dois painéis e uma junta de emenda da estrutura. A proteção do radomo sobre a antena faz a junção da estrutura sombrear a abertura da antena de uma borda até a outra borda. Se cortado verticalmente ao meio mais uma vez, tem-se quatro painéis.

A varredura em azimute das antenas será sombras da estrutura na abertura da antena. Neste caso, como o diâmetro da antena é maior, tem-se a passagem das duas junções da estrutura na frente da abertura da antena, uma em uma borda do refletor e a outra na borda oposta [8].

Nos radomos, o sombreamento da estrutura é mais complicado e depende da geometria destes. O termo geometria do radomo é usado para descrever como a esfera montada é separada em forma de painéis. Entre os tipos comuns de geometria tem-se a simétrica tipo pele de laranja (*orange peel*), a geometria quase-aleatório (*quasi-random*) de painéis irregulares, a geometria quase-aleatória com painéis regulares e a simétrica tipo iglú. A geometria do radomo, nas figuras 8 e 9, tem a sombra da estrutura na superfície do refletor que depende da geometria e do diâmetro do radomo, do tamanho do painel, do diâmetro da antena e do ângulo de varredura da antena.

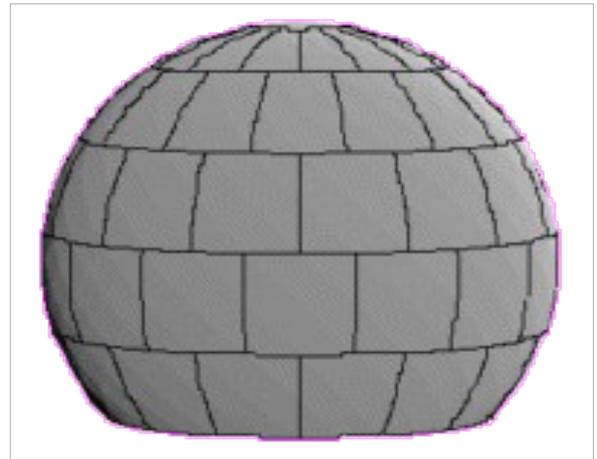
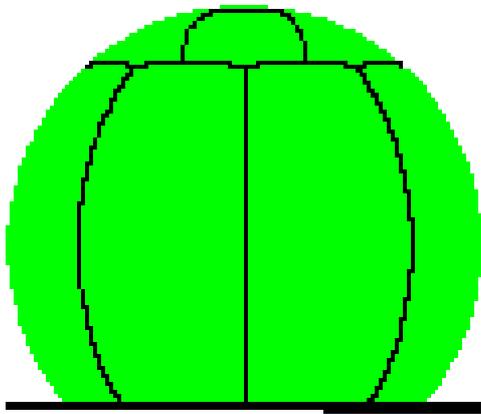


Figura 8 - Geometria radomo 'Casca de Laranja' (esquerda) Iglu (direita)

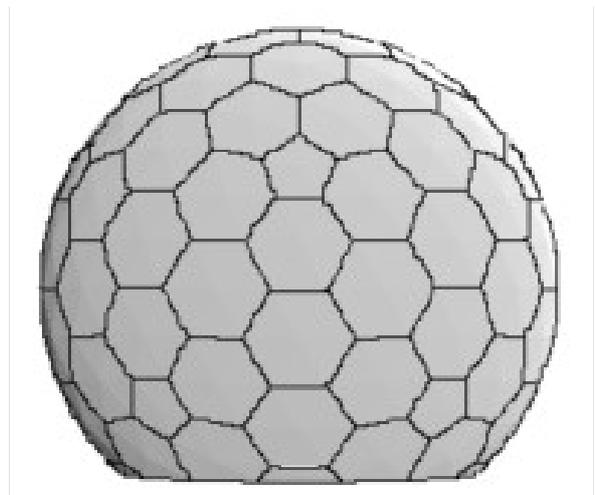
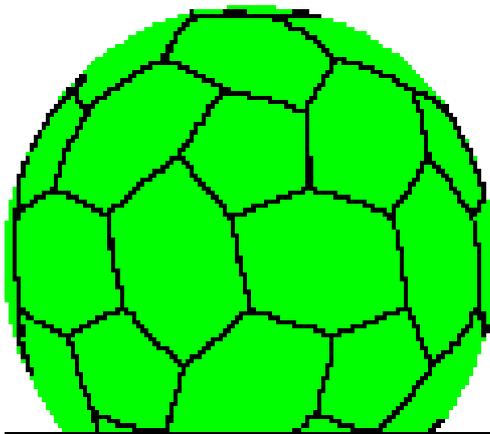


Figura 9 - Geometria d radomo Quase-Aleatório irregular (esquerda) regular (direita)

A Figura 10 mostra as sombras da estrutura de radomo com geometria 'casca de laranja' e geometria 'quase-aleatória' de diâmetro de 6.7m que protege uma antena de refletor parabólico com diâmetro de 4.3m [25].

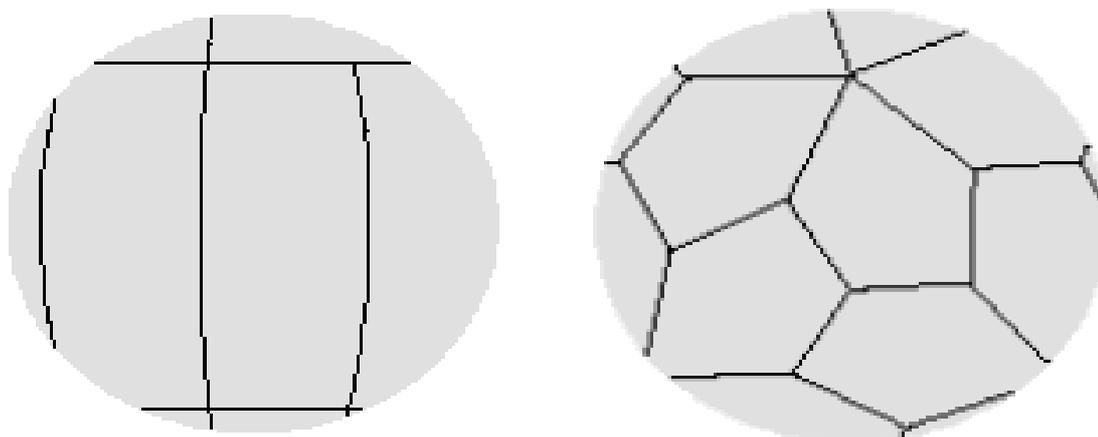


Figura 10 - Sombra de radomo 'Casca de Laranja' (esquerda) e 'Quase-Aleatório' (direita) de 6.7m de diâmetro, numa antena com refletor parabólico de 4.3m de diâmetro [25].

Para manter a perda por espalhamento baixa, normalmente devem-se usar painéis grandes para montar o radomo. Um radomo aleatório com painéis menores teria uma perda de transmissão maior devido ao comprimento mais longo das junções da estrutura. Para radomos com diâmetro de 8m acima, o tamanho do painel é pequeno relativo ao diâmetro da antena e as diferenças da geometria do comprimento da sombra se tornam significantes. A geometria quase-aleatória é importante para conseguir o desempenho necessário de rádio frequência (RF) [13], [14].

Exemplificando, uma antena de radar é projetada para minimizar os efeitos de retorno de ecos de terreno e o padrão de espalhamento da geometria de radomo casca de laranja apresenta significativamente menores efeitos nos lóbulos laterais da antena quando apontada para o solo (corte em elevação), se comparado com o radomo de geometria quase-aleatória. Em contraste aos radomos pequenos, os grandes com as numerosas juntas da estrutura sombreiam a abertura da antena e com a geometria quase-aleatória, favorece o desempenho da antena sobre as demais simetrias de radomos [18], [10].

1.8.3.DEGRAÇÃO DO PADRÃO DA ANTENA

A sombra produzida pela junção da estrutura do radomo que perturba o teste padrão da antena é uma função complexa da forma física do painel (orientação da estrutura) e de seus comprimentos e propriedades eletromagnéticas [18], [19]. Considerando-se por exemplo, o comprimento da junção como l_i , o comprimento total da sombra será a somatória dos comprimentos l_i . Cada junção da estrutura têm um teste padrão que espalha nos lóbulos laterais em sentidos preferidos de acordo com seu comprimento, orientação e forma [20].

O radomo ideal deveria ser totalmente transparente a qualquer onda eletromagnética. Como é impossível, os radomos são fabricados de modo a minimizar seus impactos no campo de propagação da antena. Requisitos de aplicações específicas determinam a importância de se conhecer a distorção do sinal como a inserção de perdas relativas no nível do lóbulo lateral, erros de apontamento, abertura de feixe e o espalhamento do sinal nos lóbulos laterais da antena, proporcionando alteração do padrão de radiação com um todo [19], [20], [13].

1.9.REFLETIVIDADE DO RADAR

A potência do sinal eco que retorna ao radar é processada e amostrada para indicar a refletividade (Z) do alvo. A refletividade do radar é uma medida da eficiência de um alvo em interceptar e retornar energia de ondas de rádio que incidiram no mesmo. Os radares meteorológicos, operando normalmente na banda de frequência C e S, são projetados para detectar gotas e cristais de gelo de precipitação na atmosfera. A eficiência de um alvo meteorológico consistindo desses hidrometeoros cuja energia é retroespalhada para o radar depende principalmente de [7], [17]:

- tamanho do hidrometeoro, medido pelo tamanho de seu diâmetro;
- seu estado ou fase, gelo, líquido ou mistura de ambos;
- concentração de hidrometeoros, sua unidade de volume (ex. m^3)
- sua forma geométrica se redonda, oblata ou plana.

O tamanho e o estado da precipitação são usualmente os contribuintes mais significativos para as grandes variações nas intensidades dos alvos de precipitação medidos com o radar meteorológico. Os hidrometeoros grandes retroespalha mais energia na atmosfera, são grandes e usualmente tem uma superfície na razão do diâmetro a sexta como no caso de granizo e gotas grandes (água) [1], [7].

1.10.EQUAÇÃO RADAR

A refletividade dos alvos depende da potência de retorno. Assim é fundamental considerar as características do alvo, as características do radar e a sua distância do alvo, determinantes na quantificação de potência recebida. Essa relação é resumida por meio da equação do radar meteorológico ou “equação do radar” proposta por J. R. Probert em 1962 como: [9]

$$P_r = \frac{P_t g^2 \theta^2 H \pi^3 k^2 L}{1024 \ln(2) \lambda^2 \frac{Z}{R^2}} \quad (1.2)$$

Onde:

- P_r = potência média retornada de um alvo para o radar [dBm]
- P_t = potência de pico transmitida [dBm]
- g = ganho da antena [adimensional]
- θ = largura angular do feixe [graus]
- H = largura do pulso (PW) [μseg]
- K = constante física dielétricas (função da natureza do alvo) [un]
- Z = refletividade do alvo [mm⁶/m³]
- λ = comprimento de onda eletromagnética emitida [cm]
- R = distância do alvo [km]
- L = Perda por atenuação [dB]

Na determinação do fator de refletividade (Z) na equação (1.2), duas características importantes dos alvos de gotas determinam a potência de retorno dos mesmos para o radar: a quantidade em número de gotas e o diâmetro destas gotas. Quando a distribuição do tamanho das gotas é dada em termos do número de gotas, 'n', em intervalos discretos de diâmetro, assume-se que todas em cada intervalo tem o mesmo tamanho.

O fator de refletividade (Z) é dado por:

$$Z = \sum n_i D_i^6 = n_1 D_1^6 + n_2 D_2^6 + \dots + n_n D_n^6 \quad (1.3)$$

Onde Z = fator de refletividade [mm^6/m^3]
 n_i = número de gotas com diâmetro i [un]
 D_i = diâmetro da gota i [mm]

O fator de refletividade (Z) de um alvo precipitante é obtido pela somatória do diâmetro à sexta potência num volume amostrado, num volume unitário (mm^6/m^3).

Portanto, a potência recebida de um alvo meteorológico depende do tamanho das gotas e sua refletividade aumenta rapidamente à medida que aumenta o tamanho das gotas, mesmo que o conteúdo de água total permaneça a mesma. Por exemplo, uma gota de $\frac{1}{4}$ cm de diâmetro retroespalha a mesma quantidade de energia de 64 gotas de $\frac{1}{8}$ cm de diâmetro.

Na interpretação dos dados apresentados pelo radar, deve-se considerar as limitações envolvidas e as considerações feitas por Probert-Jones quando da determinação da “equação radar”, onde se assumiu que [9], [17]:

- o alvo é composto de um grande número de pequenas gotas de água que se comportam como espalhadores Rayleigh²;
- as gotas de que se compõe o alvo são igualmente distribuídas no volume amostrado,
- conhecida a atenuação ocorrida entre o radar e o alvo

Na maioria das vezes, pode haver fase mista de precipitação num volume amostrado. A precipitação pode não preencher inteiramente o volume iluminado pelo feixe do radar à grandes distâncias [7], [17].

² Espalhamento de ondas eletromagnéticas por até *um décimo do comprimento de onda*.

1.10.1 FORMA COMPACTA DA EQUAÇÃO RADAR

Na equação do radar, os termos que descrevem suas características elétricas (P_t , g , θ , H , λ , L_{rd}) são constantes para um dado radar com pulso (PW) fixo. Eles podem ser descritos de forma compacta:

$$P_r = \frac{(R_c Z L_a)}{R^2} \quad (1.4)$$

Sendo: R_c = constante radar explicitas
 L_a = fatores de atenuação do sinal

A equação do radar é utilizada para obter o fator de refletividade (Z):

$$Z = \frac{(P_r R^2)}{(R_c L_a)} \quad (1.5)$$

A refletividade (Z) é precisamente medida somente se todas as constantes da equação radar forem conhecidas com exatidão. Radares convencionais não medem a distribuição do tamanho das gotas e mais a atenuação do sinal entre o radar e o alvo. O processamento das medidas do radar calcula a refletividade a partir da potência média de retorno, da distância ao alvo, da constante do radar e das atenuações conhecidas do sinal, ou seja $Z = Z_e$.

Em resumo, o sistema de radar estima a refletividade do alvo com base na potência média de retorno retro-espalhada pelo alvo em direção ao radar. Corrige-se esta intensidade por um fator de correção de potência em função da distância STC (*Sensitivity Time Control*), que é aplicado ao valor da intensidade do sinal recebido [7]. As constantes operacionais do radar tais como tamanho e ganho da antena (g), largura do feixe BW (*Beam Width*), potência de pico transmitida e atenuação inerentes à limitações do receptor são conhecidas e possibilitam o cálculo da refletividade equivalente (Z_e), produzidas nas gotas distribuídas uniformemente.

Os valores de refletividade comumente encontrados em observações meteorológicas variam de muitas ordens de grandeza, é matematicamente conveniente expressar (Z_e) em decibels³ onde tem-se:

$$dBZ = 10 \log_{10}(Z_e) \quad (1.6)$$

O intervalo de dBZ , variação de Z varia entre valores negativos até acima de 60 dBZ . Estes altos valores são associados a granizo ou taxa de precipitação alta.

A tabela 2 apresenta valores de refletividade equivalente Z_e e o correspondente valor em dBZ [3], [17].

Tabela 2 – Refletividade Equivalente dBZ_e em valores dBZ .

EQUIVALÊNCIA – REFLETIVIDADE x dBZ		
Z_e	$Log Z_e$	dBZ
0 – 1000	0.0 – 3.0	0 -30
1001 – 12589	3.0 – 4.1	30 -41
12590 – 39811	4.1 – 4.6	41 – 46
39812 – 100000	4.6 – 5.0	46 – 50
100001 – 501187	5.0 – 5.7	50 -57
> 501187	> 5.7	> 57
$Z_e =$ Refletividade Equivalente (mm^6/m^3)		

³Relacionamento entre dois valores de potência, para referir-se a valores extremamente diferentes.

1.11. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO RADAR DWSR 95-S

O *Doppler Weather Surveillance Radar 95-S* (DWSR 95-S) fabricado pela *Enterprise Eletronics Corporation* (EEC) opera na banda S entre 2700MHz e 2900MHz. Antena fabricada em duro alumínio com soldas e arrebites em formato parabólico totalmente fechada, com alimentador circular central (*center feed*) e polarização linear horizontal. Com abertura de feixe de aproximadamente 0,9 graus e sistema de rotação do tipo azimute sobre elevação com capacidade de rotação de 360 graus contínuos CW (*Clock Wise*) e CCW (*Counter Clock Wise*) e elevação de -2 graus à 90 graus. Monitora a atmosfera com seqüências pré-programadas de varreduras azimutais em 360° [4]. Um volume de varredura corresponde a uma seqüência completa de várias varreduras azimutais com diferentes elevações da antena. A tabela 3 apresenta as principais características técnicas do equipamento. O sistema de aquisição dos dados está configurado de forma a permitir uma avaliação de alta resolução espacial (área mínima de 4km²) e temporal (10 minutos) das informações de precipitação e vento. Os diversos produtos gerados a partir dos dados de radar são transmitidos para o Centro de Monitoramento e Previsão do Tempo no SIMEPAR.

O transmissor opera centrado na freqüência de 2800MHz e potência mínima da ordem de 850kWatts. O radar opera com duas larguras de pulso PW (*Pulse Width*), denominado pulso longo com largura de 2µs e pulso curto de 0,8µs de largura. A freqüência de repetição de pulsos ou PRF (*Pulse Frequency Repetition*) é variável entre 200Hz e 934Hz, adaptável as especificações e limites de potência para cada respectiva largura de pulso de radiação.

O receptor do radar DWSR 95-S é do tipo super heterodino⁴ com possibilidade de batimento de freqüência por meio de oscilador local, operando em 30MHz para cima ou para baixo. Capacitado para detectar tanto o sinal eco retro-espalhado de retorno, como a fase deste sinal, através do conjunto de módulos denominado de AFC/STALO (*Automatic Frequency Control/Stable Oscillator*) e COHO (*Coerente Oscillator*).

⁴Circuito de batimento de freqüência para recepção com estágio de FI fixa.

Tabela 3 – Características Técnicas do Radar DWSR 95- S do SIMEPAR

Características técnicas Radar EEC DWSR 95-S operado pelo Simepar	
Antena	
Tipo:	Refletor Parabólico com <i>center feed</i>
Diâmetro	8,20m (27 pés)
Ganho:	45 dB Nominal
Largura de Feixe	0,95 graus
Polarização	Linear Horizontal
Lóbulos Laterais	23dB abaixo do principal (sem <i>radomo</i>)
Radomo	
Tamanho	10,62m (35 pés)
Perda na Transmissão	0,5 dB (one way)
Deflecção no feixe	menor que 0,1 grau
Pedestal	
Tipo:	Elevação sobre Azimute
Azimute	360 graus contínuos – manual e automático
Limites de Elevação	-2 a 90 graus
Velocidade em Azimute	De 0 à 6 RPM - CW/CCW variável
Transmissor	
Tipo:	Magnetron coaxial
Frequência de operação	2.700 a 2.900 MHz
Frequência de Repetição de Pulsos (PRF)	250 a 934 Hz (variável)
Largura de Pulso	2,0 e 0,8 micro segundos
Potência de Pico	850 kW mínimo
Receptor	
Logarítmico	90 dB +/- 1 dB mínimo
Linear	26 dB a 80 dB com AGC
Oscilador Local	STALO com AFC
Velocidade Doppler	50 m/s com PRFs 4:3
Sensibilidade MDS	-111 dBm

Tem faixa dinâmica linear de 26dB à 80dB com controle AGC (*Automatic Gain Control*). O DWSR95-S é sensível a sinais de até -111dBm, que é o MDS (*Minimum Detected Signal*). A máxima velocidade radial é de 50m/s¹ para uma relação 4:3⁵, sem ambigüidade e dentro dos limites impostos pelo dilema Doppler⁶. Para PRF de relação 1:1 detecta até 25m/s¹ de velocidade radial em distância de até 120km de raio.

⁵ Técnica de variação da PRF em 4:3 para capacitar maior detecção de velocidade

⁶ Dilema que compromete a capacidade de detecção de velocidade com a distância de integração

1.12. CONCLUSÃO

O sistema de radar meteorológico agrega tecnologias diversas, de sistema mecânico de precisão; controle de servo mecanismo; eletrônica analógica de alta e baixa tensão; eletrônica digital; processamento avançado de sinais à *software* dedicado, que conjuntamente constituem uma ferramenta de grande valor no monitoramento meteorológico. Dentre suas partes, destacou-se a o conjunto irradiante, composto basicamente do alimentador circular central, sustentado por quatro braços e o refletor parabólico, ou simplesmente, antena de fundamental importância, pois afeta diretamente a eficiência operacional como um todo.

O detalhamento técnico da antena acima é necessário para operação do elemento radiante do radar. A teoria apresentada para sinais de radar e a equação do radar, conversão dos sinais elétricos em refletividade e chuva, visa um melhor entendimento do problema estudado neste trabalho.

Destaca-se também os aspectos do radomo que afetam diretamente o elemento irradiante. As características técnicas do DWSR 95-S no contexto técnico operacional, são deficientes, conforme abordado neste trabalho.

O próximo capítulo caracteriza detalhes do radar DWSR 95-S operado pelo SIMEPAR e ressalta o conjunto antena e radomo devido as combinações de parâmetros técnicos do radar, com conseqüências para os produtos gerados e a necessidade de análise como desta dissertação.

1.13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Atlas, D., **Advances in radar meteorology**. Advanced. in Geophys. Vol.10, pp. 317-478. - 1964.
- [2] Balanis, C. **Antenna Theory: Analysis and Design**. Harper & Row 2nd ed., New York, 1997 – Cap. 2 e 16.
- [3] Battan, L. J., **Radar Meteorology**. University of Chicago Press, 161 pp. 1959.
- [4] Beneti, C. A. A., Saraiva, E. A., Nozu, I., **Monitoramento da precipitação e de eventos de tempo severo com radar meteorológico no Estado do Paraná**. X Congresso Brasileiro de Meteorologia. VII Congresso FLISMET. Brasilia – DF 11/1998.
- [5] Bodnar, D. G. (chair). **IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas**: IEEE Std 145-1993. Estados Unidos da América: IEEE, 1993.
- [6] Chakrabarti, S., Wong, J.C., Sivaprasad, G., Cho, S., **Radiation Patterns Visualizing Radiation Patterns of Antennas**. Electrical And Computer Engineering Department - University of Kansas - USA - 01/1990.
- [7] Doviak, R. J.,(1992). **Doppler Radar and Weather Observations**. Dusan S. Zrnica. -2nd ed. 562pp.
- [8] Huddleston, G. K., Basset, H. L. **radomos**. Capítulo 44 em **Antenna Engineering Handbook**, 3th ed.– Part 4: Estados Unidos da América: McGraw-Hill, Inc., 1993.
- [9] J. R. Probert.,(1962) **The Radar Equation for. Meteorology**. Quart. J. Royal Meteor. Soc., 88, 485-. 495.
- [10] Kay, A.F. **Electrical design of metal space frame radomos**. IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-13, pp.188-202, Março 1965.

- [11] Knyazeva, A., Artishev, A.I. **The Mathematical Model Of Antenna And Antenna-radomo System.** Technique University, Moscou, Russia. IEEE 7803-7881. 2003. - International Conference on Antenna Theory And Techniques, 9-12 Setembro, 2003 – Sevastopol, Ukraine.
- [12] Kummer, W. H. (chair). **Measurement of the Electrical Properties of radomos.** Capítulo 14 em IEEE Standard Test Procedures for Antennas: IEEE Std 149-1979. Estados Unidos da América: IEEE, 1979.
- [13] Manz, A., Handwerker, J., Hannesen, R., Mang, M.L., Gysi, H. **radomo Influence on Weather Radar Systems with Emphasis to Rain Effects.** International Conference on Radar Meteorology AMS Conference. Montreal, Canada, 12-16 Julho, 1999.
- [14] Manz, A., Sangiolo, J., Monk, T. **radomo Effects on Weather Radar Systems.** International COST 75 – Seminar on Advanced Weather Radar Systems. Locarno, Switzerland, 23-27 Março, 1998.
- [15] Orta, R., Tascone, R., Zich, R. **Performance Degradation od Dielectric radomo Covered Antennas.** IEEE. Antenna and Propagat. Vol. 36, no. 12. Dezembro 1998.
- [16] Pehl, E. **Mikrowellentechnik, Band 1:Wellenleitungen und aktive Bauteile.** Hüthig Verlag, Heidelberg, 1984.
- [17] Reinehart, R. E.,(1991). **Radar for Meteorologists Part III.** University of North Dakota Press, 329 pp.
- [18] Rusch, W.V.T., Hansen, J.A., Klein, C.A., Mittra, R. **Forward scattering from square cylinders in the resonance region with application to aperture blockage.** IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 24, pp. 182-189, Março 1976.

- [19] Shavit, R., **Scattering Effect Seams on Sandwich radomo Performance.** IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 46, pp. 335-343, Fevereiro 1996.
- [20] Shavit, R., Smolski, A.P., Michielssen, E., Mittra, R. **Scattering analysis of high performance large sandwich radomos.** IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 40, pp. 126-133, Fevereiro 1992
- [21] Silver, S. **Microwave Antenna Theory and Design.** McGraw-Hill Book Company, New York., 623 p.p. 1970.
- [22] Skolnik, M., **Radar Handbook – 2nd.** McGraaw-Hill Book Company – New York., Cap. 39. 1990.
- [23] Smolski, A.P., Ngai, E.C., Cohen, A. **Electromagnetic Design of Advanced Sandwich radomos.** Electronic Space Systems Corporation – Old Powder Mill Road – Concord, MA 01742-4697 – 1994
- [24] Tricoles, G. P. **radomo Electromagnetic Design.** Cap. 31 em **Antenna Handbook: Theory, Applications, and Design – Part D: Related Topics.** Estados Unidos da América: Van Nostrand Reinhold Company, Inc., 1988.
- [25] Wells, T., Cohen, A. **Far Field measurement of radomo Scattered Fields.** Electronic Space Systems Corporation, USA. IEEE. Antenna and Propagat. no. 407, abril 1995.
- [26] <http://www.myerseng.com/direcalc.html> acessado em 25.05.2006 – 23:48
- [27] <http://www.radomos.org/museum/documents/BakerAFSORhoops.html>; em 20/OUT/2005, 21:00h.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DO RADAR METEOROLÓGICO DWSR 95-S

Este capítulo caracteriza a má configuração do equipamento de radar meteorológico DWSR 95-S, operado pelo SIMEPAR. Destaca os detalhes técnicos da configuração específica do referido equipamento, apresentando descrição detalhada do problema observado nos produtos gerados pelo radar, destacando a necessidade deste trabalho.

2.1. INTRODUÇÃO

O radar meteorológico DWSR 95-S é a principal ferramenta de suporte ao monitoramento de eventos severos realizado pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR, beneficiando diretamente as atividades dos setores da economia como a agricultura, energia, construção civil, transporte, segurança, ecologia e meio ambiente, saúde, lazer e turismo e a comunidade em geral através da defesa civil. Sua capacidade de detectar com precisão chuvas e ventos associados, subsidia os meteorologistas no monitoramento e na prevenção de eventos severos.

Embora seja um equipamento de ponta, dotado de todas as características desejadas em um sistema de radar meteorológico, o mesmo não tem apresentado o desempenho que se deseja de tal equipamento de medição. Cuidados especiais foram tomados no intuito de prover ao equipamento a máxima potencialidade em matéria de produtos de radar, mas detalhes técnicos específicos para com os valores da relação de ganho entre lóbulos de radiação da antena, bem como detalhes do *radomo*, possibilitou uma configuração que se mostrou inadequada. Adicionalmente os testes e medidas de fabrica não incluíram as medidas do padrão de radiação da antena com o *radomo* instalado e os incrementos indesejáveis no nível relativo do lóbulo lateral e no espalhamento da energia irradiada não quantificados acarretou resultados operacionais questionáveis e geração de produtos de baixa qualidade. Este capítulo possui por objetivo a caracterização técnica das especificações do DWSR 95-S, bem como a discussão das deficiências apresentadas pelo equipamento.

2.2. CONFIGURAÇÃO E ANÁLISE TÉCNICA

Como em todo equipamento eletrônico, em um radar meteorológico, a consistência e a manutenção de um bom compromisso entre as suas características

técnicas é de fundamental importância para a obtenção de bons resultados. Dentre as potencialidades desejadas em um sistema de radar meteorológico está na capacidade de detectar a maior quantidade de alvos possíveis. Esta potencialidade está diretamente associada com sua potência de transmissão e sua capacidade de detecção ou sensibilidade de recepção. O radar DWSR 95-S possui um transmissor com potência mínima de 850kWatts e seu receptor tem sensibilidade mínima MDS (*Minimum Detected Signal*) na ordem de -111dBm. Uma combinação deveras desejável, alta potência de transmissão, possibilitando uma distância maior sem perdas do sinal pela atenuação do meio, associado a alta sensibilidade no receptor, aparentemente qualificando o equipamento como uma excelente opção. Mesmo boas características podem deixar de ser vantajosas caso não sejam observadas como um conjunto ou se o comprometimento entre tais características não forem coerentes entre si. Como abordado, a antena é o principal elemento do conjunto de transmissão, pois é através da antena que se irradia toda a potência produzida pelo transmissor e uma combinação indesejável nesta relação torna as potencialidades do transmissor inúteis no conjunto.

O ganho da antena para este equipamento é acima de 45 dB e largura de feixe inferior a 1 grau, imaginando uma antena com alto grau de concentração de energia, que associada a um transmissor de alta potência se configura em um equipamento com alta capacidade de detecção. Se observado por este ângulo, de fato é uma combinação desejável, no entanto não se pode deixar de atentar para a questão do valor do nível relativo do lóbulo lateral, bem como do espalhamento da energia no padrão de radiação da antena. Para o caso específico do DWSR 95-S, a especificação da antena apresentou valor mínimo de nível relativo de lóbulo lateral de -22 dB e não existe uma amarra entre o ganho da antena e valores de nível relativo de lóbulo lateral, tal fato induz ao pensamento de que a antena usada seja indesejável, pois possui excelente ganho e abertura de feixe mas baixo nível relativo de lóbulo lateral, o que seria uma configuração indesejável para o equipamento. Conforme observado nas figuras 11 e 12, o padrão de radiação da antena do radar meteorológico DWSR 95-S do SIMEPAR, medido em fábrica, tem excelente valor de ganho da ordem de 45dB, tanto no corte em azimute como em elevação. A abertura de feixe desejável da ordem de 0,9 grau e o indesejável nível relativo de lóbulo lateral da ordem de 22dB. Ou seja, o ganho do lóbulo principal é de 45,6dB e o ganho dos primeiros lóbulos laterais é 23,6dB, apenas 22dB abaixo.

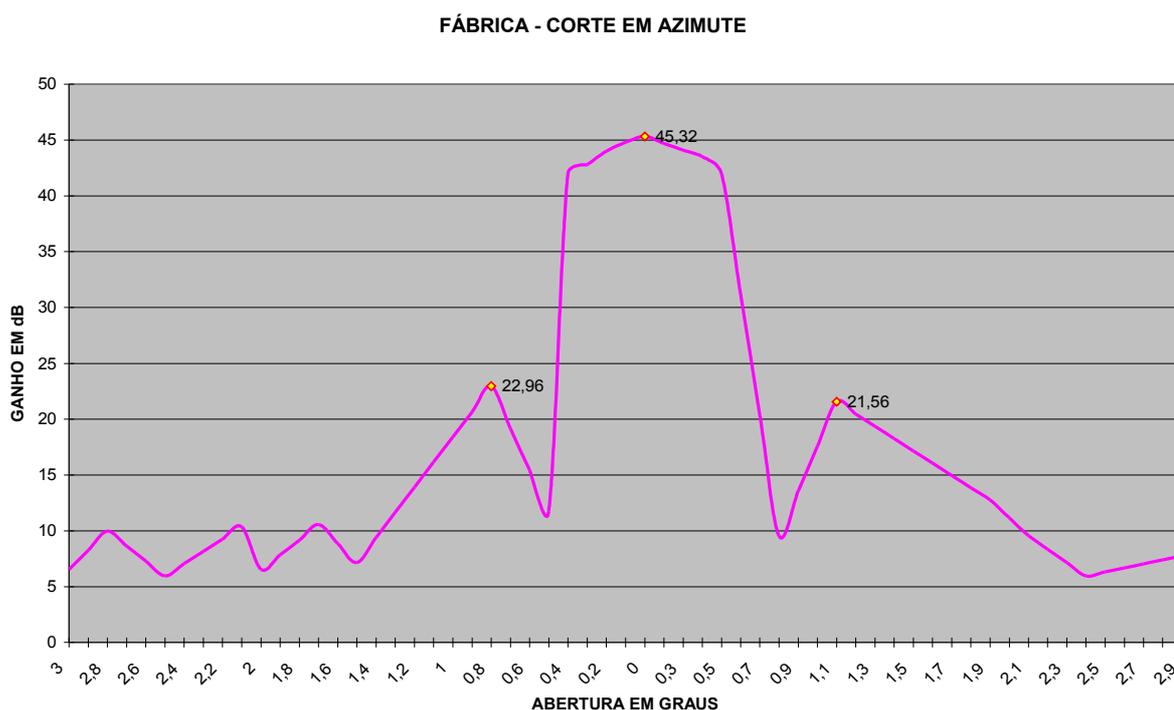


Figura 11 - Padrão radiação Antena radar DWSR 95-S Medição de Fábrica– Corte em Azimute

Resumindo e enfatizando, um radar com alta potência de transmissão, alta sensibilidade de recepção, alto ganho da antena e com baixo nível relativo de lóbulo lateral, resulta em uma má configuração, tornando as potencialidades desejáveis em indesejável, pois se o ganho da antena fosse menor e a relação melhor, a característica de sensibilidade de recepção e potência de transmissão seriam desejáveis e de fato consideradas como favoráveis, mas para o caso do DWSR 95-S, se tornaram definitivamente uma deficiência.

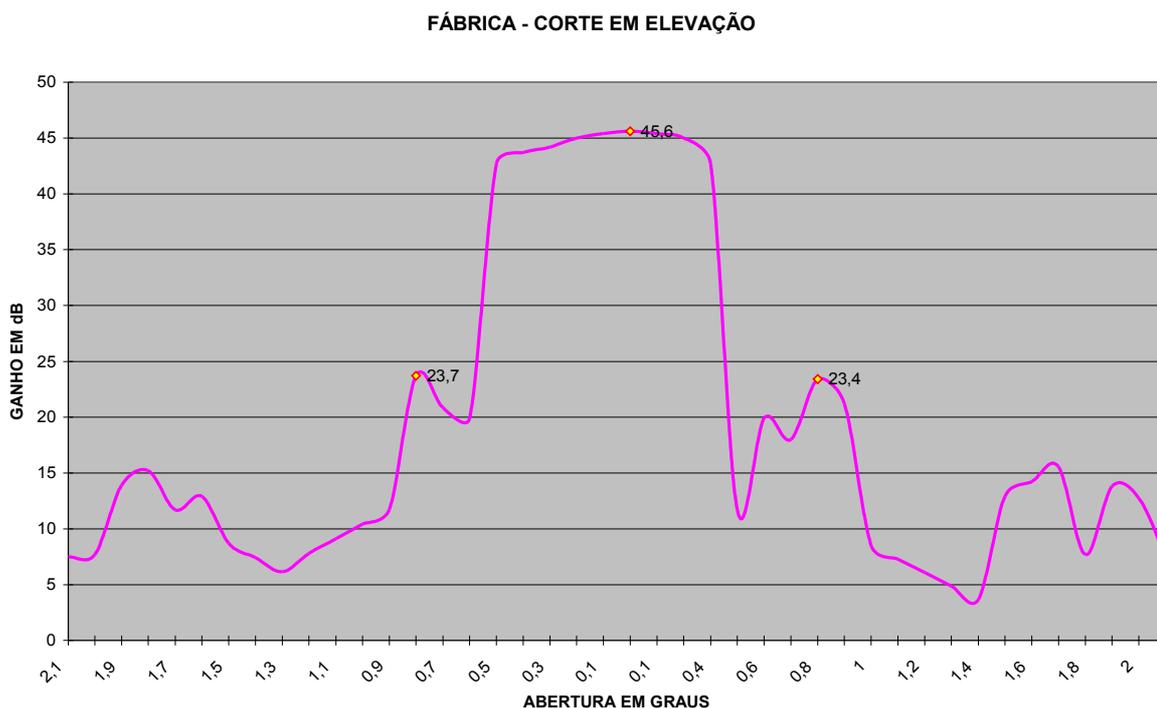


Figura 12 - Padrão radiação Antena radar DWSR 95-S Medição de Fábrica– Corte em Elevação

Destaca-se que o nível relativo de lóbulo lateral está na ordem de 22dB abaixo, observado no teste de padrão de radiação da antena realizado em fábrica sem a instalação do *radomo*, e é exatamente o incremento desta relação e o espalhamento da energia irradiada causado pelo uso do *radomo* de proteção da antena, instalado somente no sítio de instalação do equipamento, que este trabalho pretende conhecer.

2.3. EFEITOS DOS LÓBULOS LATERAIS NA PRECIPITAÇÃO

A localização do alvo de radar meteorológico se dá pelo tempo de retorno do sinal emitido e pela combinação desta informação com o posicionamento da antena em azimute e elevação, juntamente com a conhecida curvatura da terra, se torna possível determinar a localização do sinal eco de retorno detectado pelo receptor do equipamento. Digno de ênfase é a questão de que a altura considerada como altura do feixe de microondas irradiado é a altura média do feixe considerando única e exclusivamente o lóbulo principal de radiação e condições normais de refração da atmosfera. Repetindo: a altura média do feixe emitido pelo lóbulo principal é a altura considerada no processamento de sinal eco detectado. Tal ênfase se faz necessária para a abordagem do efeito prejudicial causado pelo lóbulos laterais da antena, pois

parte da energia é irradiada através dos lóbulos laterais e retroespalhada por alvos, proporcionando um sinal eco de retorno que será processado como estando na mesma altura média de propagação do lóbulo principal, causando indubitavelmente um incremento no valor médio final de retorno do sinal eco processado.

A posição física dos lóbulos laterais é diferente da do lóbulo principal, e todo sinal eco provindo de energia espalhada pelos lóbulos laterais, causa diretamente conseqüência indesejáveis, a saber, o incremento do nível da intensidade do sinal eco recebido por alvos posicionados em altura diferente da considerada no processamento dos sinais e posteriormente amostrados nos produtos manipulados do volume de dados coletados. Num sistema de transmissão e recepção em telecomunicações, por exemplo, o sempre indesejável lóbulo lateral atua diretamente na eficiência do elemento irradiante, pois parte da energia é espalhado através destes, mas pode ser compensado pelo lóbulo principal, com aumento da potência no transmissor.

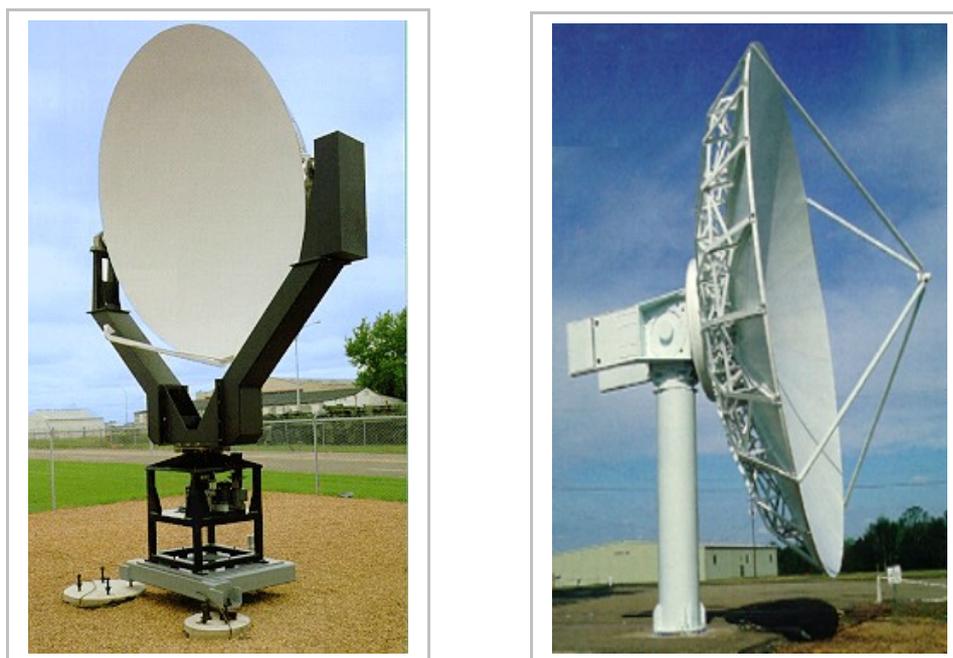
Em telecomunicações, o objetivo é que o *link* se estabeleça e que o transmissor consiga entregar sua informação ao receptor no conjunto em questão. No caso de uma antena de radar meteorológico, o efeito indesejável do lóbulo lateral é algo extremamente prejudicial, pois a questão não é a de entregar uma informação, mas a energia irradiada é refletida pelo alvo e recebida pela mesma antena e todo o espalhamento existente e observado no padrão de radiação medido da antena é considerado apenas como sendo irradiado por um único lóbulo e interpretado quando do processamento deste sinal eco, como estando a uma única altura em relação ao horizonte de propagação da microonda e conseqüente localização do alvo detectado [3].

Os refletores parabólicos das antenas utilizadas em radar meteorológico se resumem a basicamente dois tipos de alimentadores, os chamados "*off set*" onde o alimentador é posicionado fora do centro da parábola, permitindo melhores resultados nos lóbulos laterais, normalmente na ordem de 30dB abaixo do lóbulo principal e os de "*center feed*", como o próprio nome já diz, o alimentador está centrado na parábola, provocando alteração no campo de propagação.

As antenas com alimentadores em *off set*, pela sua própria concepção e formato, produzem alteração mínima no padrão de radiação da antena, inibindo o aparecimento dos lóbulos laterais e permitindo um melhor espalhamento de energia. Desta forma, a influência dos lóbulos na detecção de ecos de terreno e no

incremento dos gradientes de refletividade é quase desprezível. Em contra partida, na concepção das antenas com alimentadores centrais (*center feed*), o próprio alimentador focal, em conjunto com os braços que o sustentam, produzem perturbação no campo de radiação da antena, e conseqüentemente altera o nível relativo dos lóbulos laterais, que afetam o espalhamento de energia, agravando a detecção dos ecos de terreno e incrementando os gradientes [5].

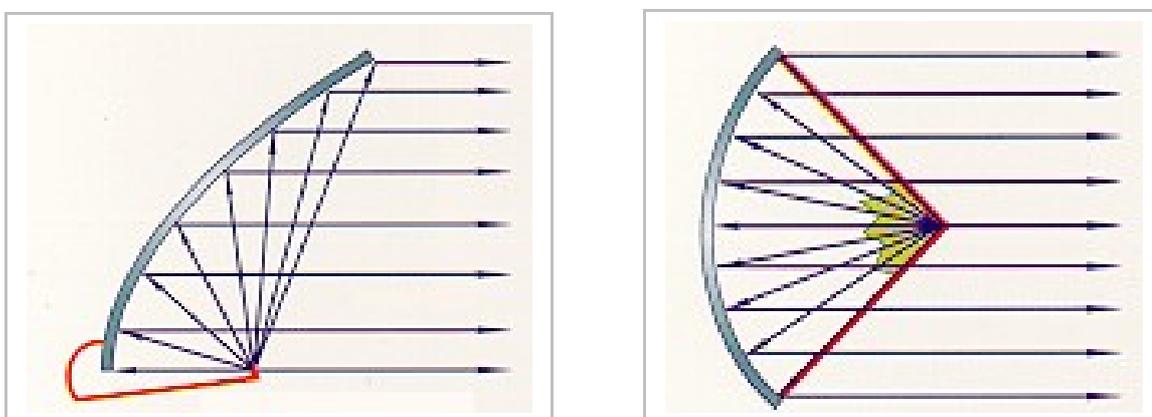
A figura 13 apresenta um modelo de antena de radar em *offset* e antena do próprio DWSR 95-S com alimentador em *center feed*. Na figura 14 tem-se a concepção teórica do espalhamento com os citados alimentadores e nota-se a perturbação no campo com alimentador central. Exemplificando-se o quão indesejável é tal relação, diga-se que o radar esteja detectando um alvo, no caso uma chuva, localizada no alcance efetivo de detecção dos lóbulos laterais, com intensidade de retorno corrigida e integrada pela constante do radar e convertida para a unidade de medida de intensidade de refletividade da ordem de 50dBZ.



**Figura 13 - Antena de Radar com alimentador em *Off set* – Kavouras TDR (esquerda)
Antena de Radar com alimentador *Center Feed* – EEC DWSR 95-S (Direita)**

Tal valor é resultado da média dos valores da intensidade do sinal eco retroespalhado pelo alvo e detectado pelo radar. A chuva de intensidade citada, foi observada e detectada por um lóbulo principal com ganho de 45dB, e parte desta intensidade recebeu incremento inevitável dos 23dB de ganho do lóbulo lateral que também detectou o volume e retornou sinal eco referente a sua capacidade de

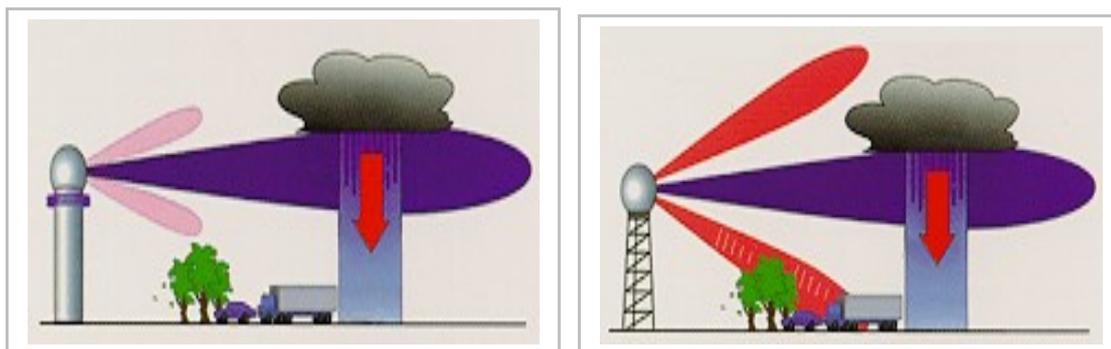
detecção. Outras informações indesejáveis e melhor observada no perfil vertical do volume coletado para o exemplo citado são a altura da base, do topo e a altura vertical final da célula, pois como o lóbulo lateral está afastado alguns graus da abertura do lóbulo principal, para o DWSR 95-S com abertura do feixe menor que 1.0 grau, os primeiros lóbulos laterais estão na ordem de 1 grau de afastamento do principal e tendo estes grande capacidade de detecção, afetam sensivelmente a resolução dos alvos, podendo não só incrementar sua quantificação, como também não discriminá-los devidamente em caso do espalhamento não concentrado da energia irradiada.



**Figura 14 - Campo de radiação de alimentador em *Off set* (esquerda)
Campo de radiação de alimentador em *Center Feed* (Direita)**

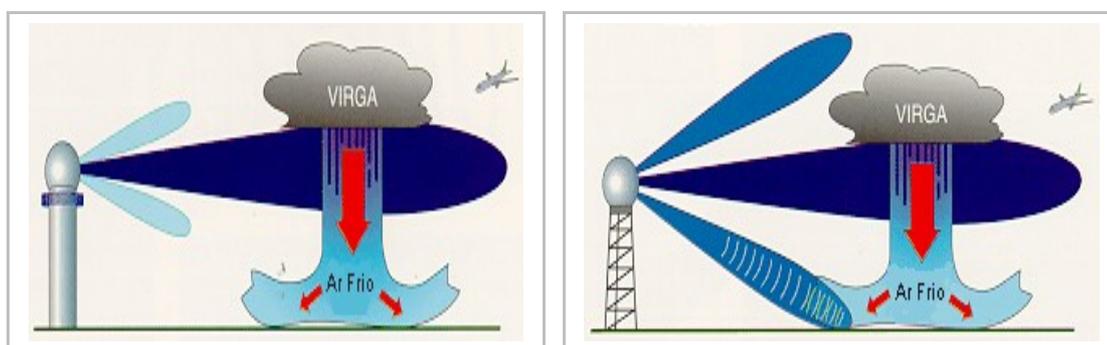
Pelo ângulo de visada do lóbulo lateral, que é mais aberto, quando detecta o alvo, o lóbulo principal está em maior elevação, mas como no processamento os sinais eco de retorno são considerados à altura média do lóbulo principal, há um incremento na altura da coluna vertical do volume coletado e processado. Adicionalmente defronta-se com a questão do incremento dos ecos de terreno, considerando a antena do radar numa determinada elevação, em uma situação que o lóbulo principal está observando 'chuva', e os lóbulos laterais ecos de terreno, haverá um incremento inevitável e totalmente impróprio nos valores da refletividade observada para aquele volume, pois no processamento dos sinais haverá integração de sinais pela média dos valores da refletividade dos alvos, com intensidades e características diferentes, porém situados à mesma distância.

A Figura 15 ilustra o efeito dos lóbulos laterais na detecção dos ecos de terreno e no incremento dos gradientes (chuvas) detectados pelo radar.



**Figura 15 - Efeito reduzido do lóbulos lateral do alimentador em *Off set* (esquerda)
Efeito indesejável do lóbulos lateral do alimentador em *Center Feed* (Direita)**

Pelo fato dos ecos de terreno normalmente retornarem sinais com potência elevada, a refletividade resultante será sensivelmente maior que a correspondente apenas à chuva. A utilização dos filtros Doppler⁷ para estes casos se tornam um tanto ineficientes, pois no mesmo ponto de altos valores de velocidade Doppler, associados às chuvas detectadas pelo lóbulos principal, observar-se-á valores de velocidade Doppler próximo de zero, associados aos ecos de terreno. A figura 16 traz exemplo adicional que destaca que em certas situação de detecção, os efeitos indesejáveis dos lóbulos laterais com ganho excessivo afetam diretamente o processamento Doppler, pois os ventos associados com o volume recebem clara interferência nos valores, por serem alimentados por fontes de sinais localizados geograficamente em posições diferentes e processados como sendo somente relativo ao sinais de retorno do eco referente a detecção do lóbulos principal.



**Figura 16 - Efeito reduzido do lóbulos lateral no campo Doppler - *Off set* (esquerda)
Efeito indesejável do lóbulos lateral no campo Doppler - *Center Feed* (Direita)**

⁷ Filtros que retiram do campo de precipitação valores de ecos com velocidade próxima de zero

Adicionalmente exemplifica-se a deficiência significativa a respeito do incremento da coluna vertical da célula de chuva detectado. Nota-se na figura 17 que em função da detecção pelos lóbulos laterais a altura da coluna vertical será incrementada, ou seja, será considerada como a de maior altura do que de fato tem, pois os sinais de retorno da radiação dos lóbulos laterais serão considerados como na altura média do lóbulo principal, ocasionando um produto incorreto.

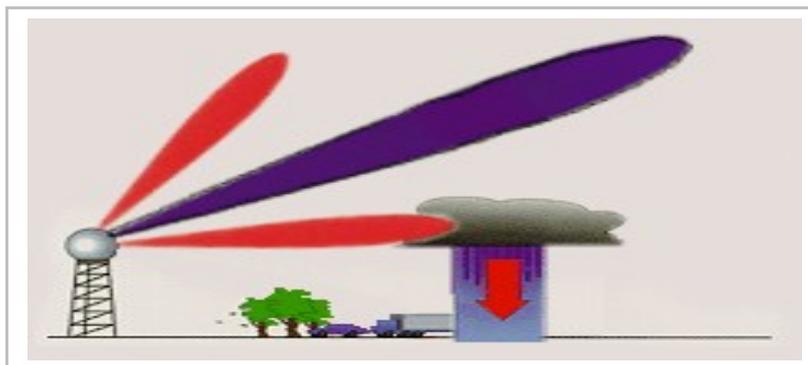


Figura 17 - Efeito indesejado do lóbulo lateral na coluna vertical – Center Feed

Os efeitos indesejáveis do baixo nível relativo dos lóbulos laterais, são evidentes na observação dos produtos processados pelo radar DWSR 95-S operado pelo SIMEPAR. Observa-se na figura 18 uma imagem coletada pelo radar onde se destaca o efetivo campo de refletividade provinda de ecos de terreno. O produto trata-se de um CAPPI (*Constante Altitude Plan Position Indicator*) à 4 km de altitude em dia sem chuva, com ecos de terreno.

Torna-se claro que o nível relativo do lóbulo lateral é algo de fundamental importância para a certificação das potencialidades de um radar meteorológico. Adicionalmente, confirma-se ser os lóbulos laterais os responsáveis pela detecção e do incremento da coluna vertical do volume observado. A figura 19 apresenta um produto de radar de RHI (*Range Height Indicator*), destacando a coluna vertical de detecção sendo incrementada. Trata-se de um corte ou seção vertical obtido à 90 graus de azimute do CAPPI da figura 18, ponto de intensa refletividade de terreno em dia sem chuva, ou seja, a detecção trata-se de ecos de solo.

A figura 20 apresenta gráfico de relação entre a elevação da antena e a altura média de feixe do lóbulo principal e com a elevação de 4 graus da antena o lóbulo principal está acima de 4km de altura do solo, não pode ser o responsável pela detecção dos ecos observados no produto RHI da figura 19.

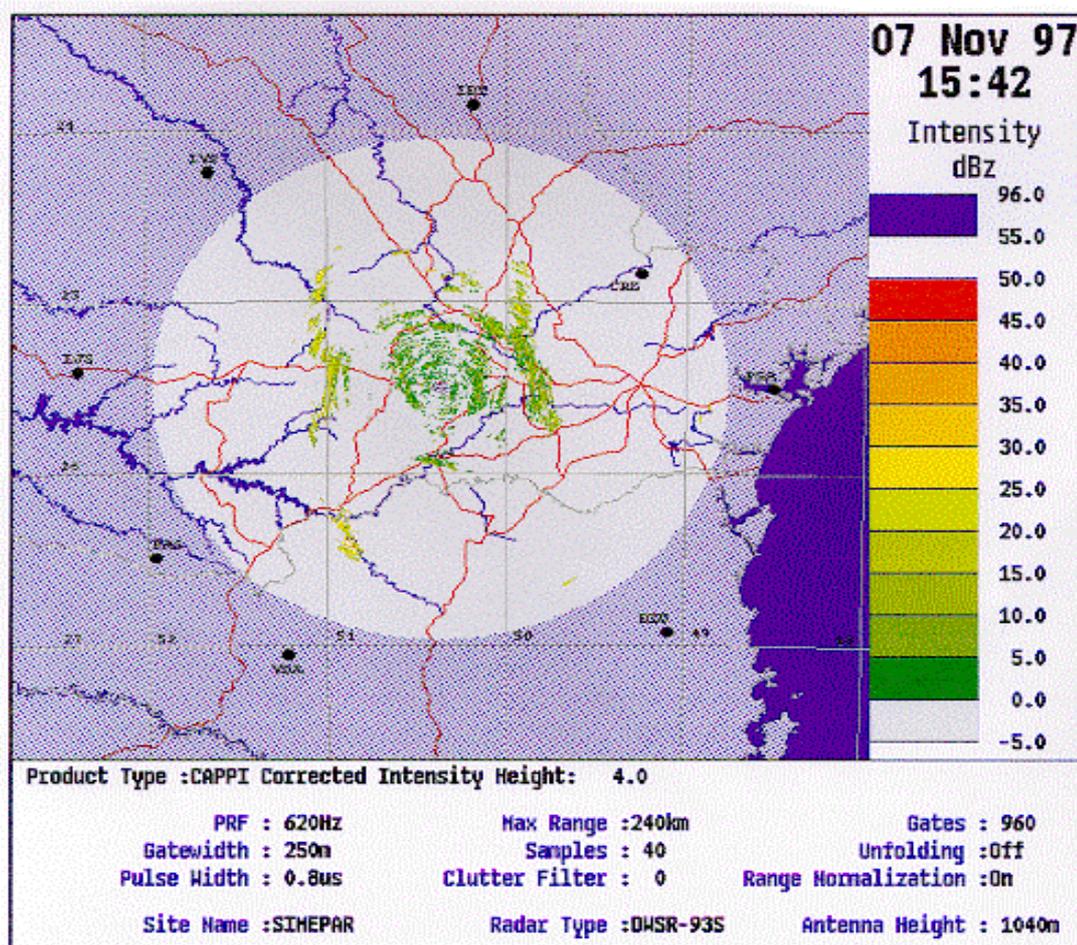


Figura 18 – Produto do radar DWSR 95-S – CAPPI 4km – Dia sem chuvas

O gráfico da figura 20 apresenta a altura média do feixe em função da distância do radar e da elevação em graus da antena do radar e nota-se que para a figura 19 com alvos detectados à distância de 60 km do radar e com altura de 4 km, o feixe principal não é o responsável pela detecção e sim os lóbulos laterais que mesmo com a antena em elevação mais superiores ainda tocam o solo e os sinais eco de retorno são processados como na altura média do lóbulo principal.

A influência indesejada dos lóbulos laterais na precipitação é incontestável, pois diferente de um sistema de telecomunicações em que se pode compensar a perda de outras formas, no sistema de radar, devido a sua metodologia específica de processamento de sinais, o efeito acarreta incrementos indevidos nos produtos gerados.

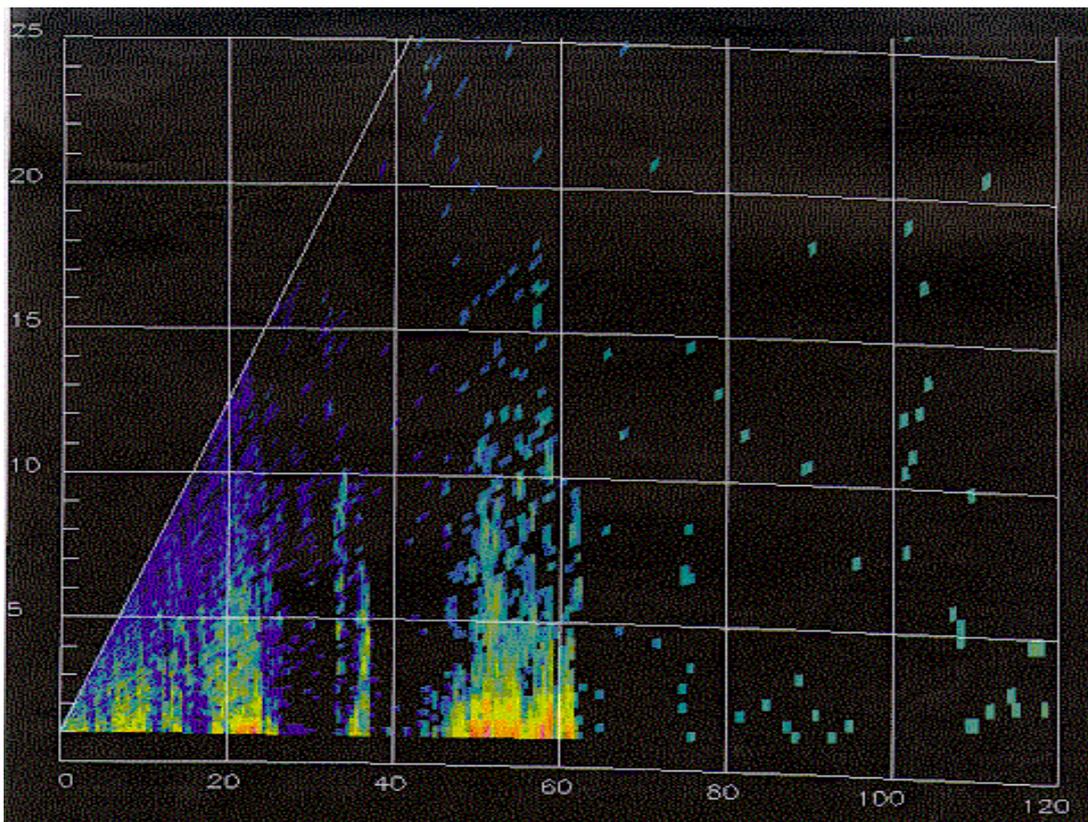


Figura 19 – Produto do radar DWSR 95-S – RHI – Dia sem chuvas

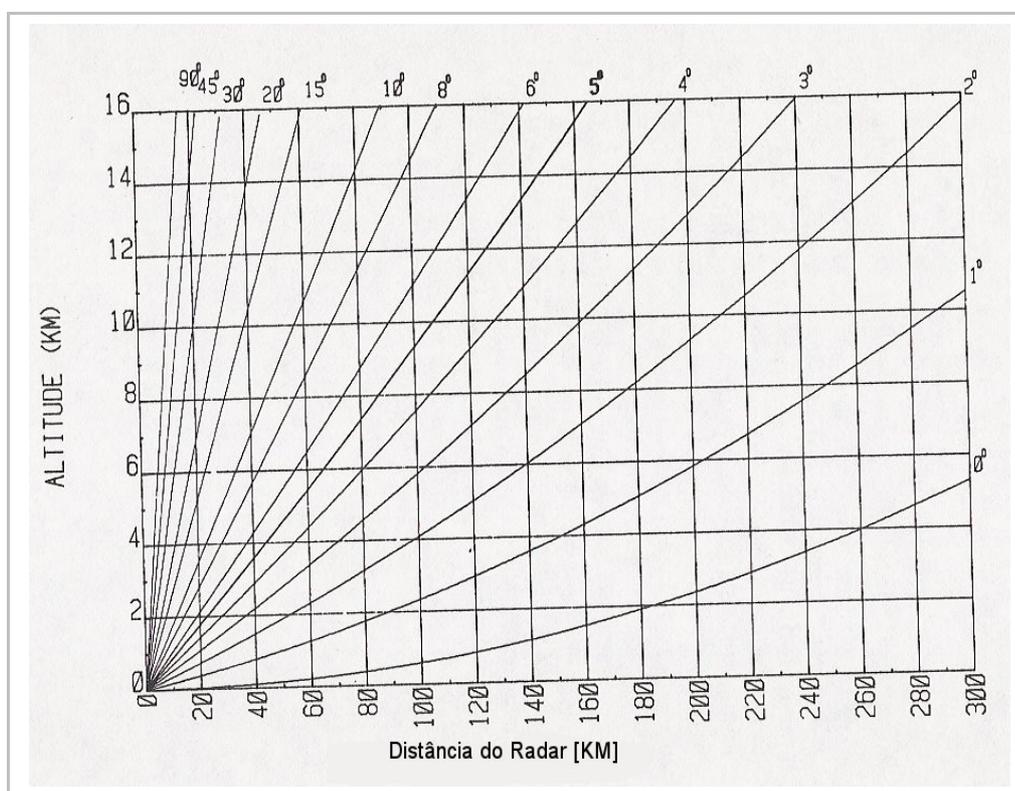


Figura 20 – Altura média do feixe do radar em relação ao solo

2.4. O RADOMO UTILIZADO NO DWSR 95-S

As características técnicas do conjunto transmissor, receptor e antena do radar DWSR 95-S não incluíram os efeitos do meio ambiente e carga de vento no refletor parabólico de 8,20m de diâmetro. Tal dispositivo denominado e conhecido como radomo, se comporta como um anteparo à frente da antena, adicionando ao conjunto perturbações indesejáveis no campo de radiação da antena, como deflexão no espalhamento, distorção na abertura do feixe, incremento no nível relativo de lóbulos secundários e conseqüentemente nas características finais do equipamento.

Das geometrias dos radomos conhecidas e utilizadas em radares meteorológicos, a utilizada no DWSR 95-S não se classifica em nenhuma delas. A geometria dos painéis do radomo que causam erros de espalhamento for construído com painéis idênticos, o erro será repetido. Para minimizar este problema, utilizam-se as geometria de radomos citadas, que proporcionam as menores perdas no sistema de radar meteorológico. O alto custo de construção e transporte destes radomos, levou a indústria a construir os radomos denominados “pseudo-aleatórios” que utilizam técnicas do formato do painel pseudo-aleatório. O método baseia-se em dividir a esfera do radomo em 4, 6, 8, 12 ou 20 subdivisões idênticas e a montagem do radomo com posições diferentes de subdivisões de painéis, possibilitando uma distribuição pseudo-aleatório dos painéis a baixo custo, tornando-se uma alternativa interessante na questão custo-benefício, embora inferior aos de geometria clássica, tem sido uma alternativa utilizada [1], [4].

A rede de radares da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administrations*), conhecida como NEXRAD (*Next Generation Radar*) utilizou radomos de geometria quase-aleatórios de alto desempenho. Visando conhecer e melhorar o sombreamento das junções da estrutura na abertura do feixe de radiação da antena, e toda a cautela e preocupação com incrementos no nível relativo dos lóbulos laterais tomadas, foi apenas suficiente para otimiza-los, pois chegaram a perdas da ordem de 2 dB à 3dB na relação. A figura 21 apresenta os cuidados na forma e configuração da estrutura do radomo do NEXRAD. [2]

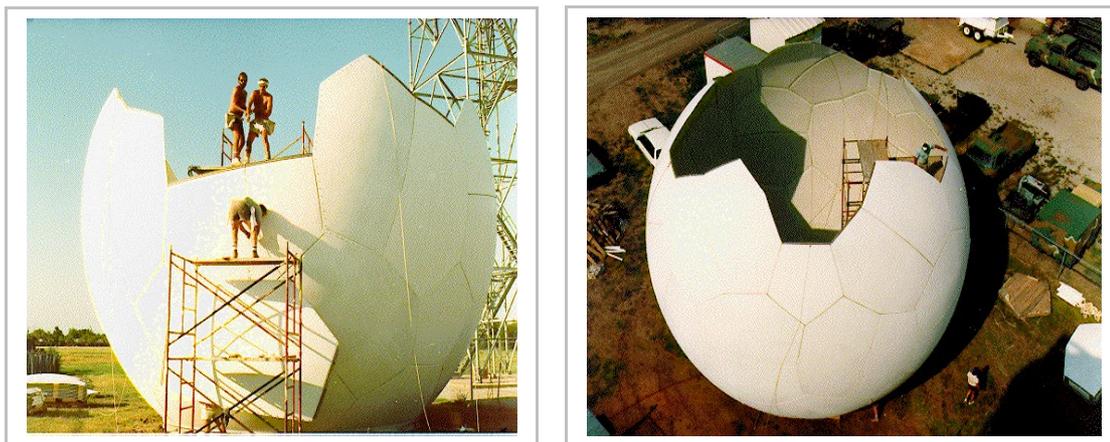


Figura 21 – radomo quase-aleatório utilizado nos radares NEXRAD [2].

A estrutura do radomo do radar DWSR 95-S operado pelo SIMEPAR é considerado como pseudo-aleatório, em função da falta de detalhamento da necessidade de um radomo adequado para as dimensões da antena, que seria um radomo de geometria quase-aleatorio. A técnica de formação de painéis denominada pseudo-aleatório, amostrada na figura 22 é a utilizada no radomo do DWSR 95-S que protege a antena.

A forma triangular regular dos 132 painéis que constituem a estrutura do radomo de 10,62m do radar meteorológico do SIMEPAR, com juntas de estrutura perpendiculares destacadas na figura 23, sombreiam a abertura da antena, provocando espalhamento da energia radiada e afetando diretamente o nível relativo dos lóbulos laterais.

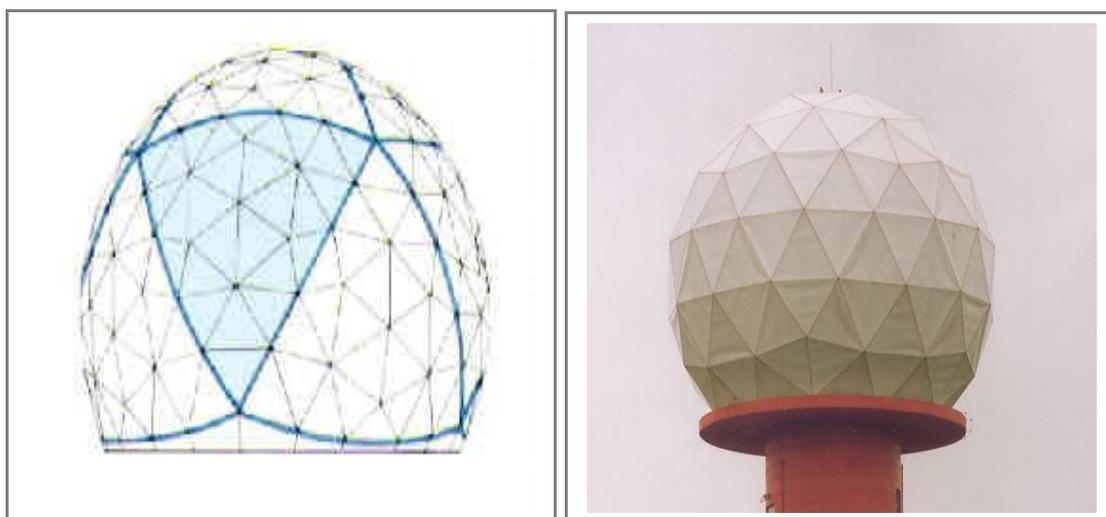


Figura 22 – Radomo pseudo-aleatório utilizado no radar DWSR 95-S

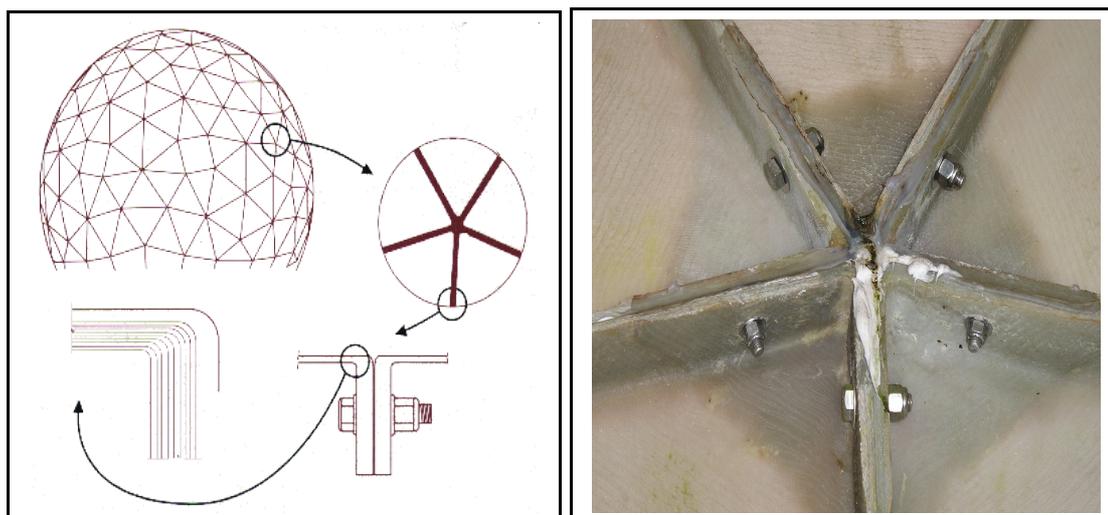


Figura 23 – Juntas da estrutura do radomo do DWSR 95-S

As figuras 22 e 23 destacam ilustrações de literaturas pertinentes e fotos do radomo utilizado no DWSR 95-S operado pelo SIMEPAR.

2.5. CONCLUSÃO

Caracterizar o problema de detecção do DWSR 95-S se faz necessário no intuito de isolar os detalhes técnicos que tornam indesejável a configuração do equipamento. Dentro do abordado, destaca-se o conjunto irradiante como um todo, inicialmente pela perturbação já comum aos refletores parabólicos com alimentador central. Conhecer o real padrão de radiação da antena, bem como o nível relativo do lóbulo lateral (RSLL) é importante na concepção de um bom elemento irradiante, principalmente em se tratando de um equipamento de radar meteorológico que processa os sinais considerando unicamente a energia emitida pelo lóbulo principal. Ter o nível relativo de lóbulo lateral prejudicado é algo indesejável e prejudicial aos dados coletados e produtos disponibilizados. Como citado, o radomo tem influência direta no espalhamento e concentração de energia e utilizar um radomo apropriado é desejável para se evitar incrementos adicionais no nível relativo dos lóbulos laterais. Conforme apresentado, o DWSR utiliza antena com alimentador central e adicionado ao uso do radomo pseudo-aleatório, teoricamente as influências indesejáveis no conjunto apresentam deficiência adicional.

Neste foco, o trabalho em questão evidencia a degradação do campo de radiação da antena do radar meteorológico DWSR 95-S. O capítulo seguinte apresenta a descrição detalhada da metodologia de medidas de padrão da antena

utilizada em fábrica sem a instalação do radomo e toda a logística e metodologia adotada para repetir as medidas de padrão da antena do radar em campo, agora com o radomo instalado, denotando a real influência da referida proteção de antena no espalhamento da energia radiada, focando o prejuízo causado no nível relativo dos lóbulos laterais

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Manz, A., Handwerker, J., Hannesen, R., Mang, M.L., Gysi, H. **Radome Influence on Weather Radar Systems with Emphasis to Rain Effects.** International Conference on Radar Meteorology AMS Conference. Montreal, Canada, 12-16 Julho, 1999.

- [2] NEXRAD JSPO, **Next Generation Weather Radar – Product Description document.** NEXRAD Joint System Program Office, R400-PD-202. – 1986.

- [3] Reinehart, R. E.,(1991). **Radar for Meteorologists Part III.** University of North Dakota Press, 329 pp

- [4] Shavit, R., **Scattering Effect Seams on Sandwich Radome Performance.** IEEE Trans. Antennas and Propagat.,Vol. 46, pp. 335-343, Fevereiro 1996.

- [5] Skolnik, M., **Radar Handbook – 2nd.** McGraaw-Hill Book Company – New York., Cap. 39. 1990

CAPÍTULO 3

DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO RADOMO NA ANTENA DO RADAR DWSR 95-S

Este capítulo descreve a metodologia aplicada nas medidas da influência do radomo na antena com alimentador central utilizada no sistema de radar meteorológico DWSR 95-S. Descreve também a metodologia utilizada pelo fabricante EEC para a medida do padrão da antena quando de sua fabricação. Detalhes da logística de campo adotada para adaptar e possibilitar as medidas do padrão da antena com o radomo no sítio do radar. Detalhes das adaptações de peças do conjunto de mecanismo da antena que possibilitaram a realização das medidas e atingir os objetivos propostos nesta dissertação.

3.1. INTRODUÇÃO

No capítulo precedente destacou-se a influência que o uso de radomos causa no padrão de radiação das antenas de radar, onde a concentração da energia é de fundamental importância. Entre os testes e medidas realizados no equipamento de radar quando em fábrica, incluiu-se a medida do padrão de radiação da antena, mas as medidas foram realizadas sem a instalação do radomo, e toda e qualquer possível influência causada ao sistema irradiante do equipamento ficou sem a devida avaliação.

Este capítulo detalha as medições realizadas na fábrica do radar, bem como o detalhamento da logística e da metodologia das medições de campo e as adaptações necessárias para a realização do teste de padrão da antena no sítio operacional do equipamento com o radomo instalado. O objetivo é o de realizar uma comparação entre os padrões de radiação da antena obtido nas medições de fábrica e nas do sítio operacional do radar no intuito de correlacionar os resultados indesejáveis observado em alguns dos produtos gerados pelo sistema com a questão do espalhamento da energia, possivelmente agravada com a instalação do radomo.

O resultado da comparação e análise serão apresentados e os detalhes técnicos indesejáveis e seus efeitos serão ressaltados.

3.2. CONFIRMAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO RADOMO

Devido a própria concepção mecânica do conjunto pedestal antena, a instalação do radomo se faz necessário para proteger o conjunto, mas torna-se um antepa-

ro ao campo de propagação da antena e revela-se um problema na eficiência de concentração da energia irradiada, observada principalmente no nível relativo do lóbulo lateral [3]. Os algoritmos que transformam as informações coletadas pelo Radar, atribuem a este obstáculo valores de atenuação de uso geral da ordem de 0.5dB e a real avaliação desta atenuação se faz necessário. Amostra do material do radomo foi obtida e entregue para análise laboratorial junto ao Lactec (Laboratório Central de Eletrônica), para determinação dos materiais predominantes da composição do radomo. Conhecendo o material predominante utilizado na fabricação, se encaminhou modelamento matemático da real atenuação do radomo na incidência de ondas eletromagnéticas planas na faixa de frequência do radar de 2800MHz.

Utilizando o método das diferenças finitas no domínio do tempo FDTD (*Finite Difference Time Domain*) considerado como ferramenta versátil e eficiente para a solução das equações de Maxwell em estruturas complexas para qualquer dependência temporal, com elementos tetraédricos ao invés da tradicional malha hexaédrica [1]. A avaliação se deu com a comparação dos resultados obtidos entre as simulações efetuadas, tendo-se como referência a amostra do modelo propagado no Ar, como sendo o ideal e sem perdas, estabelecendo-se assim uma grandeza adimensional com escala em dB. As análises foram elaboradas nas FFTs (*Fast Fourier Transform*) das amostras de tensão obtidas, visando a frequência operacional do radar de 2.8GHz. Realizou-se simulações de propagação de uma OEM plana, polarizada horizontalmente, passando através do painel do radomo de proteção de antena de radar meteorológico e na junta reforçada de união dos painéis que formam a estrutura do radomo, detalhes das referidas simulações e resultados se apresentam no anexo I.

3.3. CAMPOS DE MEDIDA DE PADRÃO DE RADIAÇÃO

O teste padrão de radiação da antena ou o teste padrão da antena é definido como "uma função matemática ou uma representação gráfica das propriedades de radiação da antena em função das coordenadas espaciais. O espaço em volta da antena é geralmente subdividido em três regiões: campo próximo reativo; campo próximo radiante ou região de Fresnel e campo distante ou campo de Fraunhofer. Na maioria dos casos, o padrão de radiação é determinado em campo distante e é representado em função das coordenadas direcionais [2]. Para a determinação da influência do radomo no padrão de radiação da antena do radar DWSR 95-S

realizou-se medições em campo próximo radiante ou campo de Fresnel e campo radiante distante ou campo de Fraunhofer. O campo próximo radiante é qualquer localização no raio entre a distância do campo próximo reativo dado pela equação 3 abaixo e a distância ou linha imaginária de início da região de campo distante dado pela equação 3.1.

$$R < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (3)$$

$$R > \frac{2 D^2}{\lambda} \quad (3.1)$$

Onde R = raio do campo [m]
 D = diâmetro do refletor [m]
 λ = comprimento de onda irradiada [cm]

Para o DWSR 95-S, com antena de 8,20m, operando na frequência de 2800MHz, e conseqüente comprimento de onda de 10,7cm, qualquer ponto localizado no raio entre 44m e 1.256m do radar estaria sob influência do campo próximo radiante de Fresnel e o campo distante seria qualquer ponto localizado fora desta linha imaginária de raio. Foram realizados medições em campo próximo de Fresnel e campo distante de Fraunhofer e vários pontos foram verificados como potenciais locais para a montagem da infra-estrutura e instalação da antena de teste.

A figura 24 apresenta uma visualização das equações e das distâncias dos campos próximos e distante de um elemento radiante.

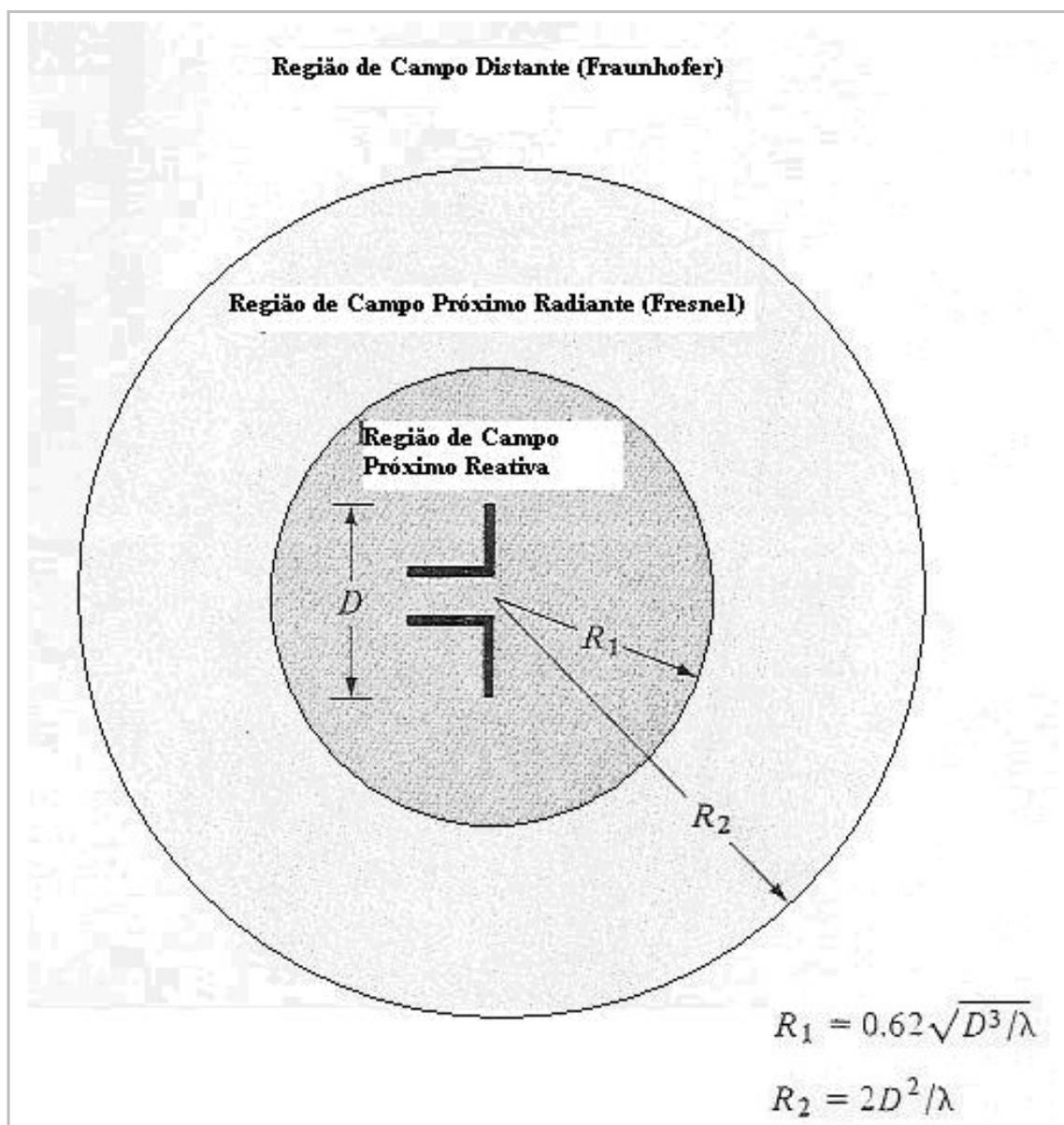


Figura 24 – Região dos campos de propagação de antenas – [2]

Visando um bom campo de propagação, os locais escolhidos foram os de melhor visada direta e provável menor interferência do meio, se apresentou menor número de obstáculos visíveis no campo de propagação, principalmente vegetação.

3.4. MEDIDAS DO PADRÃO DE RADIAÇÃO EM CAMPO

Métodos analíticos podem ser utilizados para analisar, sintetizar e numericamente computar as características de radiação de uma antena. Algumas antenas em suas situações de uso não permitem serem investigadas ou conhecidos seu real padrão por meio de métodos numéricos como MM (*Moment Method*), FDTD (*Finite Difference Time Domain*) e FE (*Finite Element*) que tem sido utilizados desde muitos anos. Resultados adicionais seriam necessários para validar dados teóricos e conhecer o padrão de radiação de algumas antenas.

A desejada condição ideal nem sempre é possível quando a antena está instalada em campo e em local de difícil adaptabilidade das condições de foco e campo, mas podem ser aproximadas com ajustes na distância da fonte de iluminação e a antena em teste [3]. A distância de separação entre a antena em teste e antena de fonte de iluminação dever ser igual ou dentro da linha imaginária da região do campo distante apresentado em (3) para minimizar erros do campo de incidência ao plano ideal da onda em torno de 22,5 graus. Adicionalmente a curvatura da frente de fase em consequência da distância que separa as antenas, as reflexões do terreno e objetos próximos são fontes de degradação na iluminação da antena em teste. Investigações experimentais para medidas de padrão de antenas em campo revelam alguns cuidados fundamentais principalmente pelas impróprias reflexões de terreno à volta e no campo de propagação do teste. Em alguns casos é impraticável conduzir o teste de forma operacional e adequado em ambiente descontrolado, como condições meteorológicas e topografia do local, por exemplo. As medidas internas, em câmeras anecóicas não acomodam devidamente antenas de grande porte como o refletor parabólico do radar de 8,20m de diâmetro [3], [6].

A contextualização do trabalho não procura conhecer ou ratificar o ganho da antena em teste e sim a influência do radomo no padrão de radiação da antena, com foco no espalhamento e no nível relativo de lóbulo lateral. Em fábrica foi utilizado o método de transferência de ganho para conhecer o ganho da antena do radar. [2]. Em campo repetiu-se a metodologia dos testes realizados em fábrica, com foco no nível relativo dos lóbulos laterais e no espalhamento da energia no campo de radiação.

3.5. MEDIDAS DO PADRÃO DE RADIAÇÃO NA FÁBRICA

A *Enterprise Electronics Corporation*, fabricante do radar DWSR 95-S, em sua fábrica no Alabana-EUA, integra boa parte dos módulos que compõem o sistema de radar, bem como projeta e fabrica integralmente a antena. A antena do DWSR 95-S tem dimensão elevada em função de sua abertura de feixe ser na ordem de 0,9 graus e operar numa frequência com comprimento de onda na ordem de 10cm. Os suportes de sustentação do alimentador central para as dimensões da antena (8,20m), acabam incrementando as perturbações no campo de radiação. Como abordado no item anterior, outras técnicas de alimentação poderiam apresentar melhora no conjunto, como as em *off-set*, mas são detalhes técnicos que encarecem o equipamento, e acabam deixando a desejar na questão do desempenho técnico.

A antena do radar meteorológico do SIMEPAR, passou pelos testes de medição de seu campo de radiação. Embora os manuais técnicos do equipamentos não apresente detalhamento da metodologia, as referidas medições foram acompanhadas por técnicos do SIMEPAR e comprovam que as medições foram feitas campo distante ou campo de Fraunhofer em ambiente aberto. Devido as suas dimensões, uma câmara anecóica⁸ se torna impraticável e com custos elevados, pois a produção de antenas do fabricante do radar se resumem a poucas unidades ao ano. Na distância apropriada para sair do campo próximo e das influências do campo de radiação da antena, uma torre com um refletor parabólico a uma altura que acredita-se estar em foco de altura com a antena do radar em teste, irradiou-se uma certa potência em ondas contínuas (CW). Acoplado e alinhado ao eixo central do alimentador da antena em teste, instalou-se uma antena ou corneta denominada padrão, que tem o valor de seu ganho conhecido.

Um circuito de guia de ondas acoplou esta antena a um receptor de sinais conectado a um registrador potenciométrico, que desenha um gráfico com escala de ganho logarítmica (dB). Como o ganho da antena padrão é conhecido, registra-se o valor do ganho da mesma, podendo desta forma calibrar a graduação do gráfico. Na figura 25 nota-se o destaque no ponto onde se registrou o valor de calibração do gráfico, obtido do valor do ganho conhecido da corneta padrão.

A partir de então, com o gráfico calibrado, acoplou-se a antena do radar em teste no mesmo canal de medida que trafegou o sinal detectado pela corneta padrão

⁸ Sala blindada em que as paredes, o teto e o chão são cobertos por material absorvente, que elimina as reflexões das ondas eletromagnéticas.

e portando mesma perda no meio. O sistema de servo mecanismo de azimute e elevação da antena do radar em teste quando em operação normal não suporta movimentos lentos, passos pequenos consecutivos, necessários para fazer varrer a fonte de emissão da antena emissora, sendo necessário substituir o sistema de controle de movimento da antena para controle de redução na proporção de 36:1.

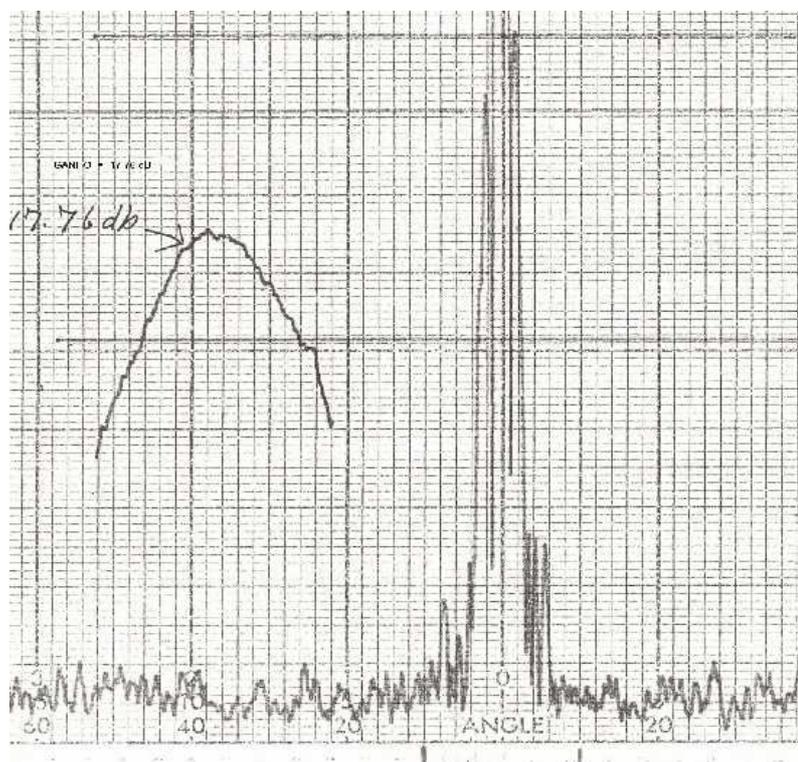


Figura 25 - Destaque da calibração do gráfico do padrão de radiação - ganho da corneta padrão.

No registrador potenciométrico acoplado ao receptor sintonizado na faixa de frequência do radar e conseqüente fonte de emissão de teste, pode-se plotar as variações da intensidade de energia detectado e desenharem-se o perfil de radiação da antena em teste. Como o gráfico é logarítmico em escala dB e está devidamente calibrado pela antena padrão, pode-se então obter além do desenho do campo de radiação da antena, o valor de ganho dos lóbulos, principal e secundários, dando-se atenção ao principal e aos primeiros laterais, segundo e terceiro.

Com a antena movimentando-se lentamente, varre-se a fonte de emissão de sinais, e os lóbulos de radiação vão sendo desenhados ou plotados no gráfico. Na figura 26 tem-se o diagrama de bloco das conexões da medição da antena em teste realizado em fábrica. O procedimento completo, passo a passo, da referida medição realizada em fábrica consta do anexo III.

Com movimentos extremamente lentos localiza-se o centro de maior intensidade do feixe de emissão de sinal da antena emissora e primeiramente em azimute varre-se vagorosamente a fonte de sinal obtendo-se o padrão de radiação com corte em azimute, plotando-se o gráfico.

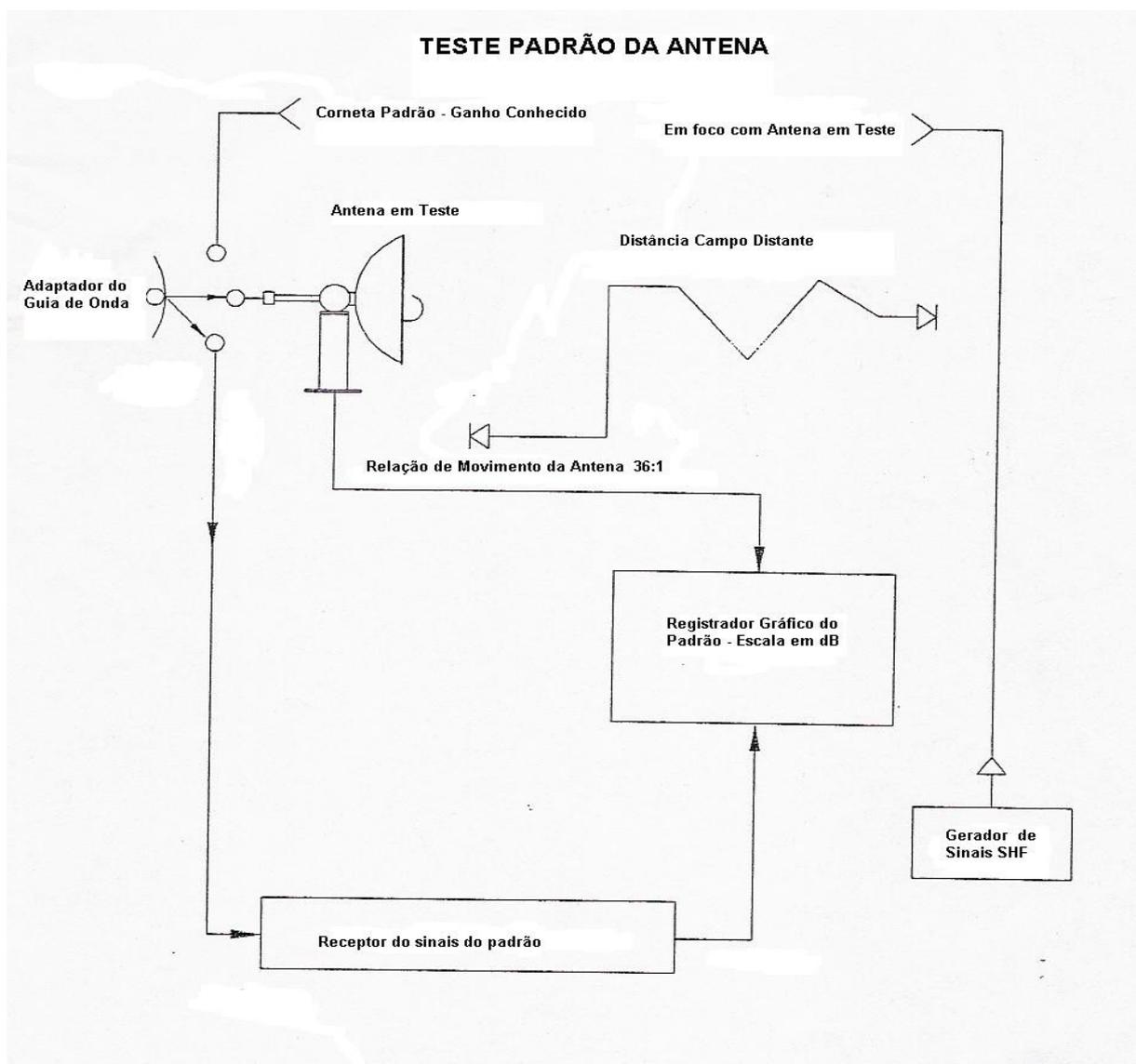


Figura 26 - Diagrama em bloco das conexões do teste padrão da antena realizado em fábrica

Alterando-se a escala de resolução da abertura em graus da variação dos movimentos da antena, obtém-se no gráfico maior precisão de leitura para o valor da abertura do feixe, e a meia potência do valor máximo de ganho do lóbulo principal, ou seja, 3dB abaixo do pico de ganho, lê-se o valor da abertura do feixe de radiação ou abertura da antena.

A figura 27 detalha o aumento da resolução em graus para melhor interpretação da leitura da abertura do feixe de radiação da antena. Volta-se ao ponto de maior intensidade em azimute, varia-se vagarosamente a antena, desta feita com movimentos em elevação obtendo-se o perfil de radiação da antena em elevação, corte em elevação, que se plotados em conjunto com os valores do corte em azimute, pode-se obter o desenho do perfil da antena de forma tridimensional.

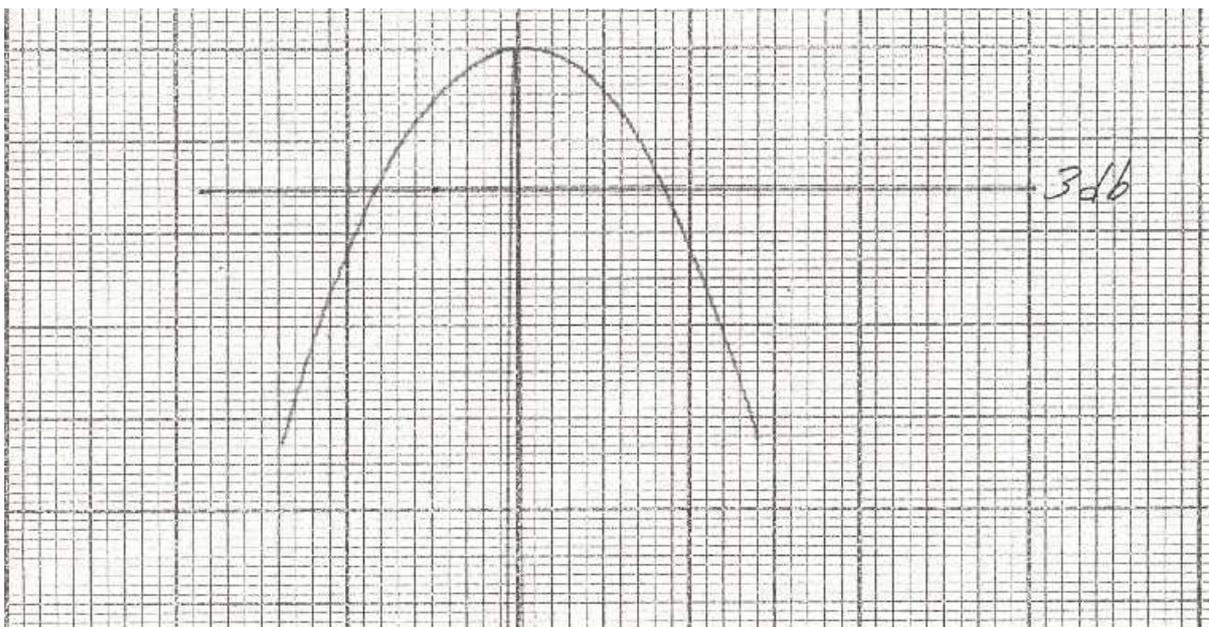


Figura 27 - Aumento da resolução do gráfico para leitura do valor da abertura do feixe.

O algoritmo de conversão dos sinais do radar em refletividade (Z) são obtidos da interpretação dos valores de ganho e abertura de feixe da antena dos gráficos de corte em azimute e em elevação da antena, destacando que o conhecimento destes valores é fundamental para a correta calibração e utilização do equipamento de radar meteorológico.

3.6. INFRA-ESTRUTURA DE MEDIDAS DE CAMPO

O local definido para a instalação do radar se deu em função da área de cobertura pretendida e a necessidade de canal de comunicação para a operação remota do equipamento. Na ocasião a Copel operava o anel de microondas para suas telecomunicações, e a repetidora de Iratí foi escolhida para a instalação do equipamento. As repetidoras de microondas preferencialmente se localizam em pontos altos para facilitar a visada dos enlaces o que se tornou agente complicador na infra-estrutura para a medida do padrão de radiação da antena do radar.

Do alto da torre do próprio radar pode-se observar a volta e facilmente notar que o radar está instalado no ponto mais elevado das imediações e ao redor, no campo próximo e distante, não se tem nenhum local que esteja no alinhamento de visada com a antena do radar a ser testada. O local tem altitude de 1016 m e com a torre de instalação do radar de 25m, somado a antena de 8,20m de diâmetro, o ponto focal da antena elevou-se para 1045m. Os testes de medições só foram possibilitados em função da antena do radar permitir elevações negativas e ser apontada para a fonte irradiante padrão em elevações abaixo de 0 grau.

Nos pontos determinados para a instalação da antena como fonte emissora para o teste, um andaime metálico de 10 metros foi montado, instalado suporte e o refletor parabólico de teste, a fonte emissora, criando-se em campo um sítio para o teste da antena do radar em campo. A figura 28 apresenta a infra-estrutura montada em campo. A antena utilizada como parte do circuito irradiante foi uma parabólica de 1,20m de diâmetro com 27,6 dB de ganho, com 3 graus de abertura de feixe, operando na faixa de frequência de 2500 – 2700 MHz, com alimentador central e polarização linear horizontal, a mesma polarização da antena do radar. Um gerador sintetizado de microondas operando em 2700 MHz, acoplado à antena através de cabo coaxial MD600 de baixa perda e de faixa de frequência operacional entre 2 e 3 GHz, com conectores tipo N. A tabela 4 apresenta a relação dos equipamentos e acessórios utilizados em campo.



Figura 28 - Infra-estrutura de campo montada para as medições

Tabela 4 – Equipamentos e acessórios utilizados em campo.

INFRA-ESTRUTURA DE CAMPO			
Energia Alternativa		Cabo Coaxial	
Tipo/Tamanho	No-break	Tipo/Tamanho	Coaxial baixa perda
Fabricante	Best	Modelo	LMA600
Modelo	FVA500	Frequência	2 à 3 Ghz
Bateria	12V / 135A/h	Conector	tipo N
Gerador de Sinais		Estrutura	
Fabricante	Hewlett Packard	Tipo/Tamanho	Andaime Metálico
Modelo	HP 8335B	Tamanho	Modular com 10m
Potência	Potência -120 à + 10dBm		
Atenuação	Escalonado em 1dB		

O primeiro passo foi visitar pontos nas imediações do radar e utilizando equipamento de GPS (*Global Position System*) determinar pontos de maior altitude dentro do raio de campo próximo e de campo distante de medidas, onde posteriormente montou-se a infra-estrutura para as referidas medições. A figura 29 apresenta a morfologia da região do radar onde se realizaram os testes e as medidas do padrão de radiação da antena do radar com o radomo. Ratifica-se que outro fator preponderante na escolha do local de instalação da infra-estrutura de teste foi a desobstrução do campo de visada entre as antenas, fonte padrão e a do radar em teste.

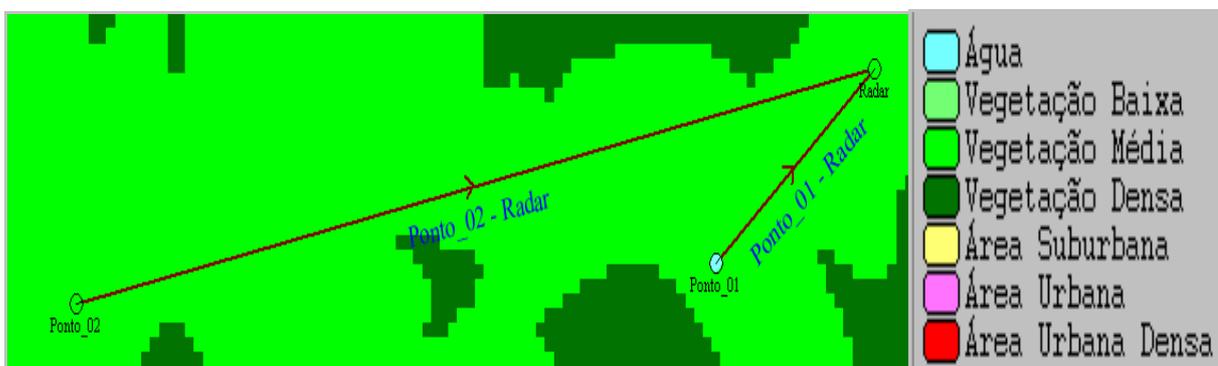


Figura 29 - Morfologia do campo de visada próximo e distante das medições do padrão

3.7. SISTEMA DE SERVO MECANISMO DA ANTENA

Conforme abordado, quando da medida do padrão de radiação da antena em fábrica, foi necessária a substituição do sistema de controle de servo mecanismo para possibilitar movimentos da antena em azimute e elevação que permitissem movimentos com a antena de forma lenta, com passos da ordem de décimos de graus, para uma boa definição do gráfico plotado com os valores do padrão, bem como para um apontamento preciso de visada das antenas do radar em teste e a antena radiante.

O conjunto de controle do servo mecanismo utilizado no sistema de radar tem precisão de apontamento da ordem de 0,2 graus e movimentos iniciais menores que 1grau são dificultados em função da inércia do conjunto. Tal precisão se mostrou insuficiente para o teste desejado, motivo inclusive que em fábrica se fez substituição do conjunto para um de melhor precisão. A figura 30 apresenta um diagrama da mecânica do sistema de radar DWSR 95-S, do manual de manutenção do equipamento, onde se destaca o motor de rotação e elevação, bem como a planetária de redução de 100:1 que acopla o movimento elétrico do motor para o

movimento mecânico da antena. Na figura 31 tem-se fotos dos referidos motores e do conjunto de engrenagens redutoras de movimentos (100:1) para uma melhor visualização e entendimento do conjunto de mecanismo do radar.

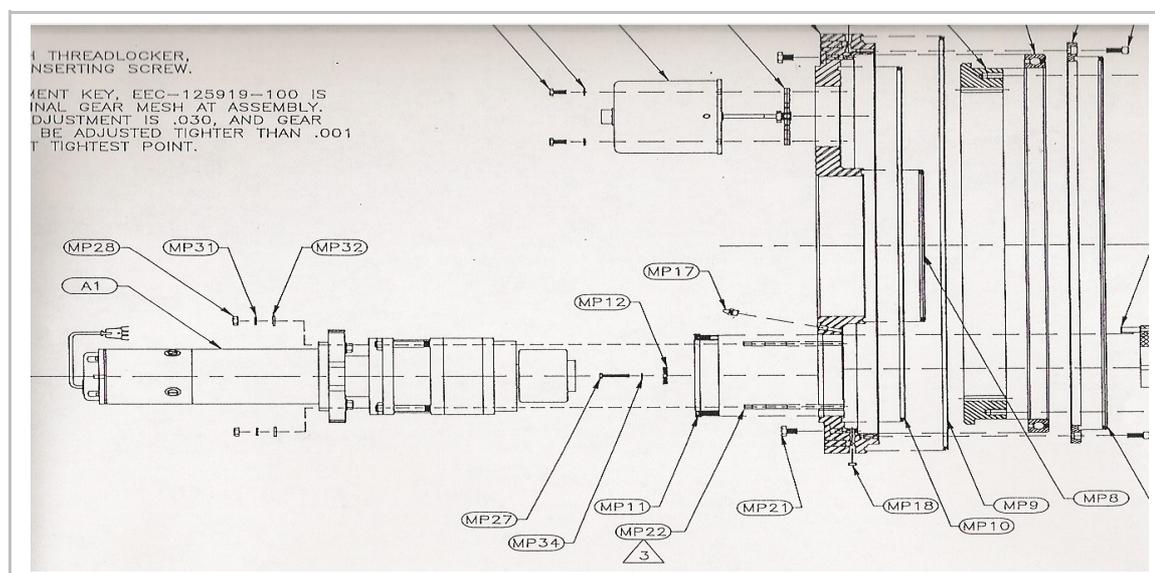


Figura 30 – Diagrama do sistema mecânico de rotação e elevação da antena do radar.

Em face da impossibilidade de se obter um conjunto que permitisse a redução dos movimentos do sistema de azimute e elevação da antena do radar, a exemplo do realizado em fábrica, elaborou-se uma pequena peça para a devida adaptação na planetária⁹ de redução do sistema de movimentação mecânica da antena em substituição ao motor. Tal peça possibilitou a realização de movimentos lentos e precisos com a antena, onde um quarto (1/4) de volta aplicada manualmente na peça, amostrada na figura 32, movimenta a antena em um décimo de grau, movimento desejado para possibilitar a realização dos testes de maneira correta e eficiente.

⁹ Conjunto de engrenagens mecânica com redução de movimentos de 100:1

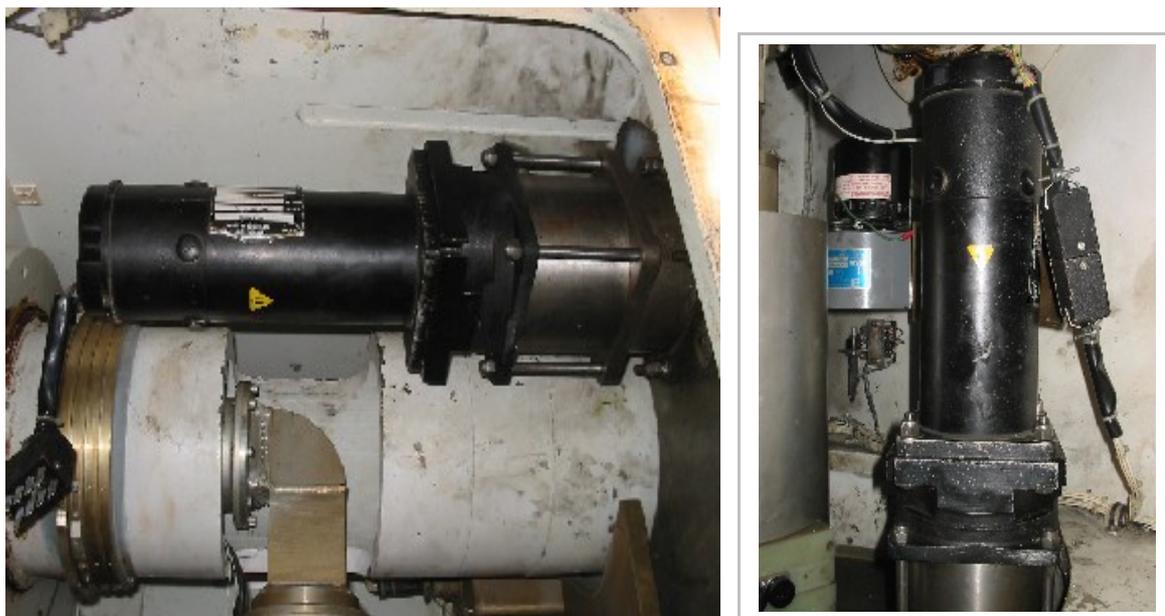


Figura 31 – Motor de azimute (direita) e motor de elevação (esquerda) da antena do radar

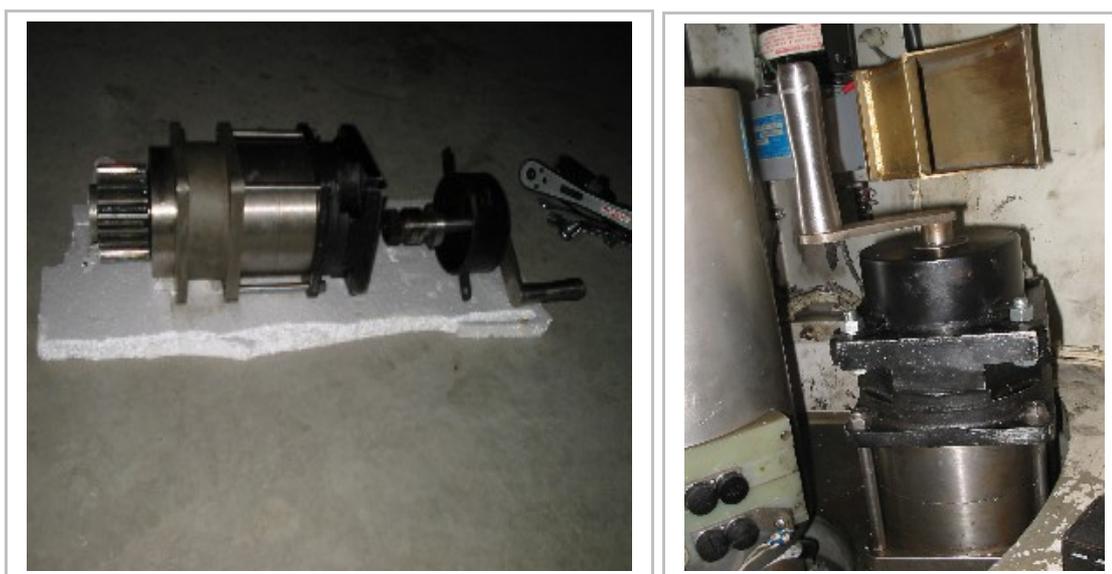


Figura 32 – Peça elaborada para substituir o motor nos movimentos da antena.

A utilização da referida peça foi essencial para a realização das medições, possibilitando movimentos extremamente lentos da antena tanto em elevação como em azimute, varrendo a fonte emissora de sinal e localizando a antena em teste exatamente no ponto de maior ganho de sinal, localizado na maior amplitude do lóbulo principal.

3.8. INFRA-ESTRUTURA FÍSICA-HUMANA UTILIZADA NO TESTE

Devido as dificuldades inerentes de trabalho em campo, foi necessário um contingente mínimo de três pessoas para a realização da medição, sendo que uma pessoa ficou com um rádio comunicador junto aos equipamentos instalados no local determinado como o ponto irradiante em campo, recebendo orientações para ligar ou desligar o gerador de sinais, no intuito de economizar energia, tendo em vista que o suprimento de energia para o gerador de sinais de microondas utilizado para irradiar sobre a antena em teste provinha de baterias, e o consumo do equipamento irradiando é elevado. Uma segunda pessoa recebia orientação para movimentar manualmente a antena com a peça adaptada no sistema de redução do mecanismo da antena do radar, instalada em substituição ao motores. Uma terceira pessoa comandou e orientou os demais e conduziu os testes anotando os valores obtidos da amplitude do sinal detectado pelo radar e amostrado no terminal de supervisão e visualização através do software EDGE (*Enterprise Doppler Grafics Envorimment*). A figura 33 apresenta visualização da logística de comunicação que possibilitou a realização das medições de campo, onde a boa comunicação e entendimento entre as pessoas envolvidas no teste foi essencial para o sucesso obtido.



Figura 33 – Logística de Comunicação durante os testes e medidas.

Ênfase adicional na comunicação entre a solicitação de movimento e parada no ponto exato, a cada décimo de grau, nos movimentos de elevação e azimute, possibilitando-se a leitura do valor da amplitude do sinal detectado nos pontos de interesse.

3.9. MEDIDAS DE CAMPO PRÓXIMO

Dentre os locais previamente selecionados, escolheu-se o de maior altitude e com campo de visada com menor quantidade de obstáculos, como morros e vegetação. O ponto escolhido está a 582m de raio da antena em teste, portanto dentro do raio de campo próximo radiante. A figura 34 apresenta a altimetria da visada das antenas do local escolhido para os testes em campo próximo, podendo-se comprovar que a torre que abriga o equipamento de radar está no ponto mais elevado das imediações, sendo um agente complicador na logística de campo na realização das referidas medições.

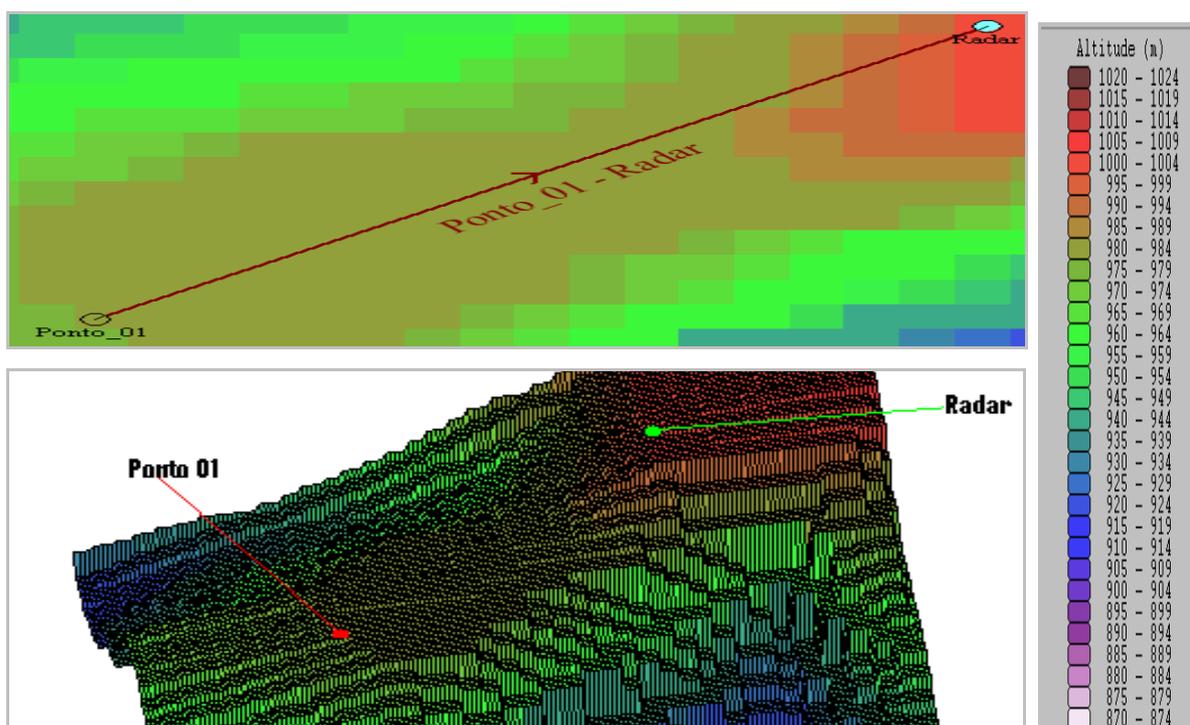


Figura 34 - Altimetria do local da medição de campo próximo – ponto 01

A figura 35 amostra o campo de visada das antenas com a zona de Fresnel liberada, gráfico desenhado no *software* CellPlaner. Como descrito no item anterior, realizou-se as medições do padrão da antena com corte em elevação e azimute.

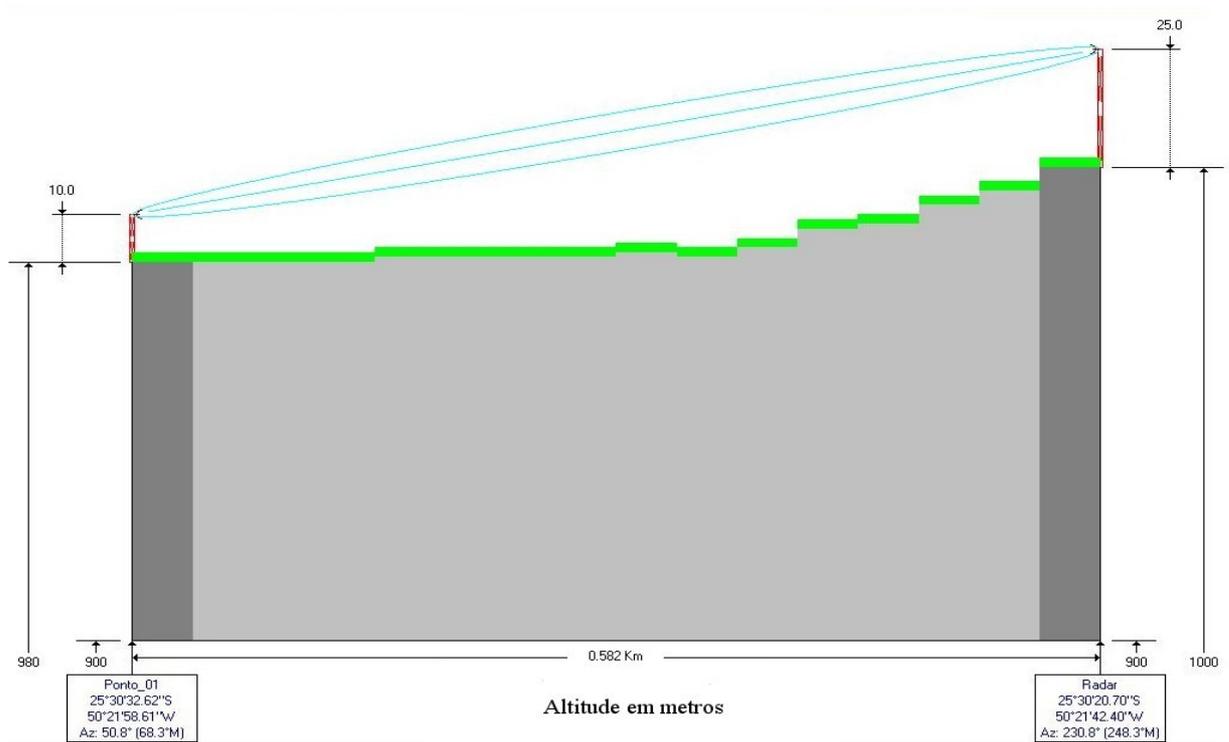


Figura 35 – Gráfico de visada das antenas em campo próximo com zona de Fresnel liberada.

O campo de visada pode ser observado na figura 36, e embora apresente-se como tendo poucos obstáculos de provável interferência, não foi possível se conhecer a exata influência do meio no teste realizado.



Figura 36 – Visada das antenas em campo próximo de propagação (Fresnel)

Na visada das antenas em campo próximo, observa-se claramente o campo de propagação em que se realizou os testes. O local foi escolhido principalmente em função de estar aparentemente desobstruído, apresentando pouca vegetação na área frontal de propagação das antenas.

3.10. MEDIDAS DE CAMPO DISTANTE

A altimetria da região de medição em campo distante se mostrou com maior desnível, ratificando que o ponto de instalação do equipamento de radar é o mais elevado nas imediações. A figura 37 apresenta os detalhes altimétricos do campo de visada das medições em campo distante.

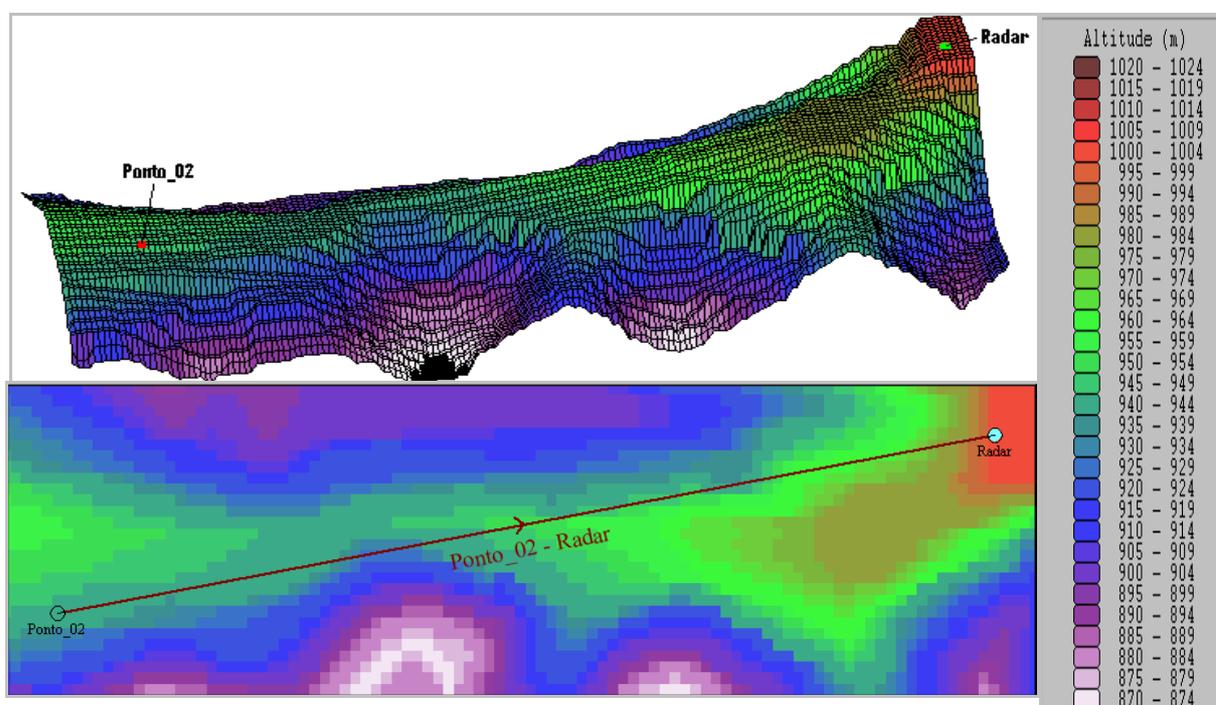


Figura 37- Altimetria do local de medição de campo distante – ponto 02

O ponto está a distância de 2582m e toda a infra-estrutura de andaimes e equipamentos utilizados para os testes em campo próximo foram repetidos para os testes agora de campo distante de Fraunhofer. A figura 38, amostra o gráfico de localização das antenas com a zona de Fresnel totalmente liberada.

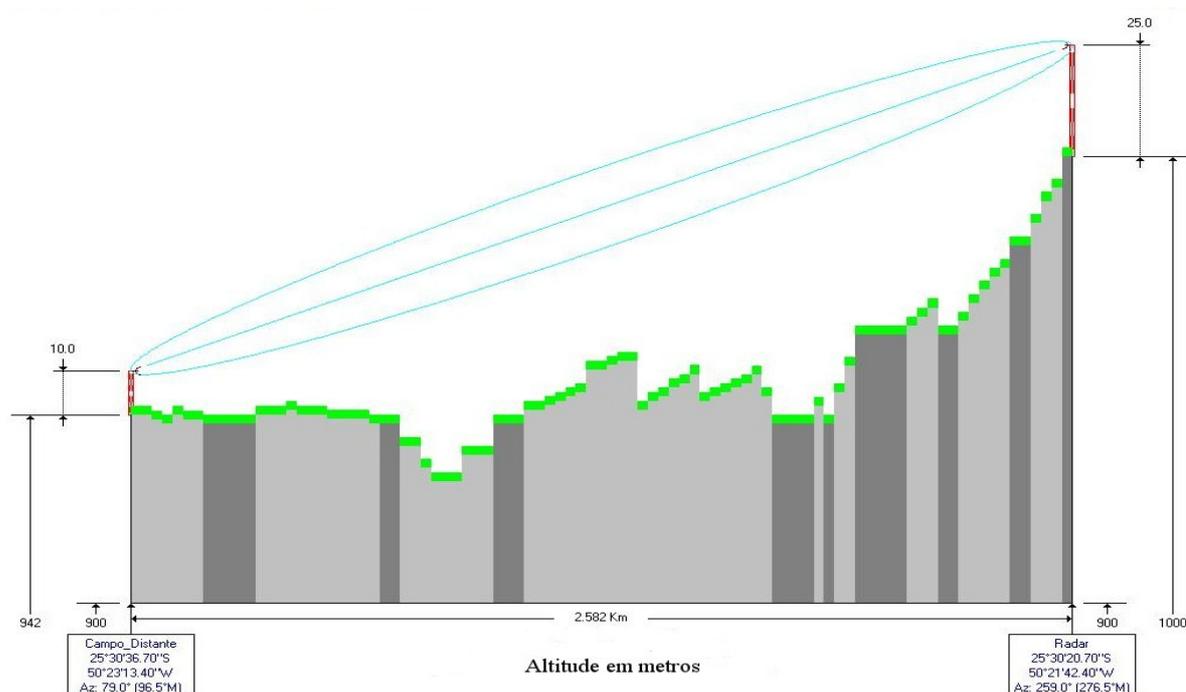


Figura 38 – Gráfico de visada das antenas em campo distante com zona de Fresnel liberada.

Conforme já salientado nos itens anteriores, diante dos resultados obtidos e tendo-se como orientação o proposto e recomendado por C.A.[2], decidiu-se em repetir as medições agora em campo distante. Dentre os pontos visitados, optou-se pelo de maior altitude no intuito de melhor alinhar as antenas e com campo de visada com menor quantidade de possíveis interferências, amostrado na figura 39.



Figura 39 – Visada das antenas em campo distante de propagação (Fraunhofer)

3.11. DETALHAMENTO DOS PRECEDIMENTOS DE TESTE

Inicialmente, sintonizou-se o receptor do radar para operar na mesma frequência da antena fonte, de 2700MHz. Ajustou-se o gerador de sinais para irradiar em ondas contínuas na frequência desejada com potência de -5dBm. De maneira visual, apontou-se a antena do radar para a posição da antena fonte até obter o melhor nível de sinal. Com a peça adaptada no conjunto de azimute, fez-se uma varredura extremamente lenta por cima da fonte irradiante e conheceu-se o ponto de maior intensidade.

Trocou-se a peça de controle manual para o sistema de elevação da antena e repetiu-se o realizado em azimute, ou seja, com a antena parada em azimute, varreu-se a fonte emissora em elevação para se conhecer a maior intensidade de sinal. Novamente com a peça em azimute, fez um ajuste fino para se certificar do real apontamento da antena em teste com a antena emissora. Com a antena fixa em elevação, o sistema de mecanismo da antena do radar adaptado com a peça especialmente projetada para substituir o motor e de forma manual foi-se movimentando a antena em azimute lentamente. Primeiro para a direita com movimentos lentos e a cada décimo de graus parava-se para se anotar o valor lido e assim sucessivamente até não se observar valores discriminados no piso de ruído.

Com o mesmo cuidado, fez-se toda a movimentação da antena, agora para a esquerda, saindo do piso de ruído, passando pela maior amplitude do sinal e seguindo de décimo em décimo de grau em azimute até novamente no extremo esquerdo detectar-se somente o piso de ruído. Desta forma obteve-se o corte bidimensional em azimute do padrão de radiação da antena. A mesma seqüência de movimentos se fez para a elevação, deixando-se a antena ficar em azimute no ponto de maior intensidade de sinal, ou seja, o lóbulo principal da antena, movimentando a antena para cima do pico máximo de sinal até o piso de ruído, seguido do retorno da antena, passando pelo ponto máximo e chegando até a menor elevação possível, chegando ao piso de ruído. A metodologia adotada para o apontamento das antenas se deu de acordo com o esquema apresentado na figura 40 baseado na proposta de Balanis et al [2].

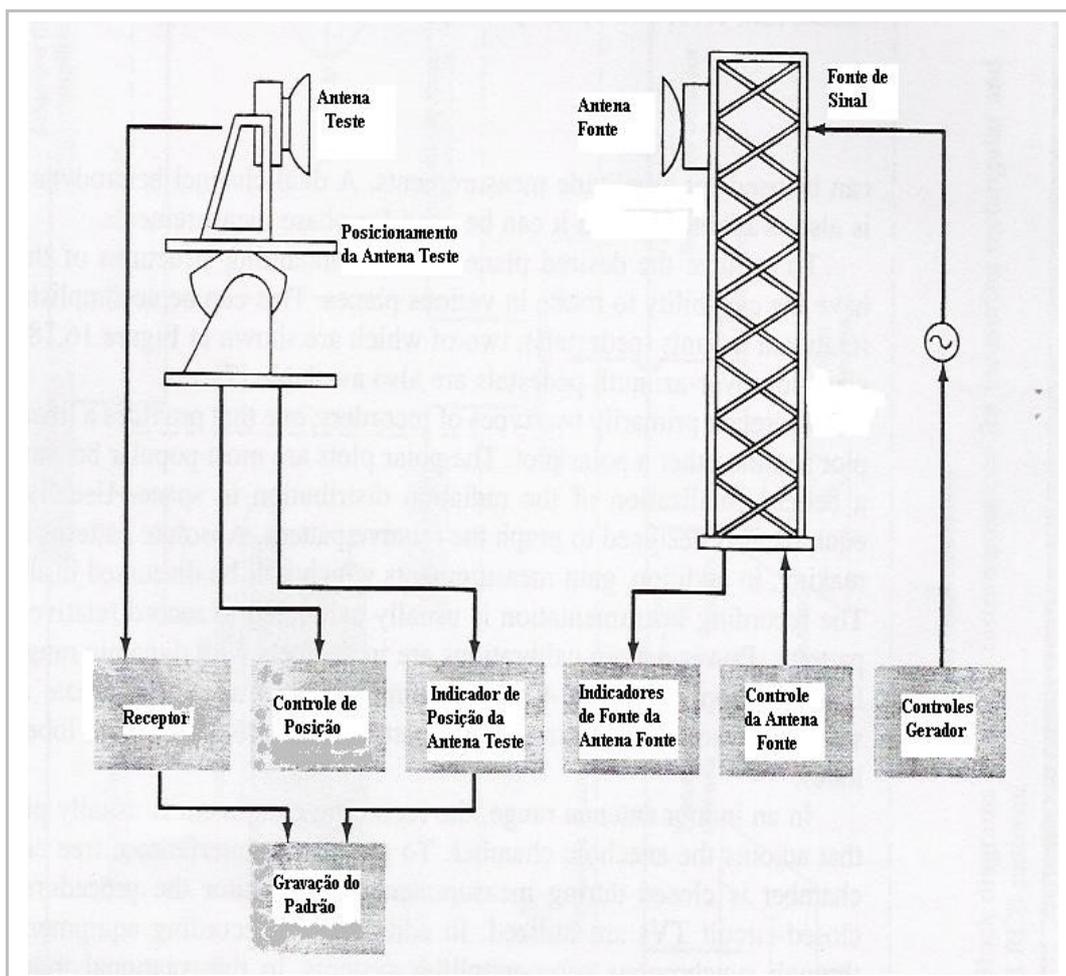


Figura 40 – Diagrama da configuração dos equipamentos adotada nas medições [2]

Para o teste de corte em elevação, para a parte inferior da escala, a antena apontou inevitavelmente para o solo e o piso de ruído não foi observado, em função das perturbações inerentes ao meio e dos ecos de terreno no campo de medida.

3.12. METODOLOGIA DE LEITURA DOS VALORES MEDIDOS

Conforme explanado, os sinais irradiados pelo gerador de sinais através da antena fonte em campo e detectados pelo radar são convertidos de dBm para valores de refletividade amostrados em dBZ. Tal conversão de sinais e escalas se dão através da constante de radar e algoritmos implementados no software de processamento de sinais do radar.

Os valores de intensidade dos sinais irradiados pela antena fonte e detectados pela antena do radar em teste eram amostrados na tela do *software* de

manutenção e supervisão do radar EDGESYS (*Enterprise Doppler Graphics Environment System*).

Foi ajustado o hardware do equipamento para desabilitar o AFC (*Automatic Frequency Control*) para não haver correções de valores de frequência, bem como os filtros de *software* e o AGC (*Automatic Gain Control*) e STC (*Sensitive Time Control*) foram desabilitados para que fosse apresentado na tela de supervisão, amostrada na figura 41, os valores brutos e sem correção ou filtragem. Como a escala de potência do gerador de sinais é em dBm e a escala de refletividade detectada no radar é em dBZ, não necessitou-se fazer qualquer adequação nos valores lidos e amostrados na tela do EDGESYS, bem como normalização dos valores no gráfico do padrão de radiação em azimute e/ou elevação obtido dos valores lidos e anotados. Tal referência de valores foi devidamente comprovada com a alteração da potência irradiada em -5dBm e na tela de leitura de refletividade o valor foi decrementado em exatos -5dBZ, comprovando a correta correlação da escala de valores convertidos pelo processamento de sinais do radar meteorológico.

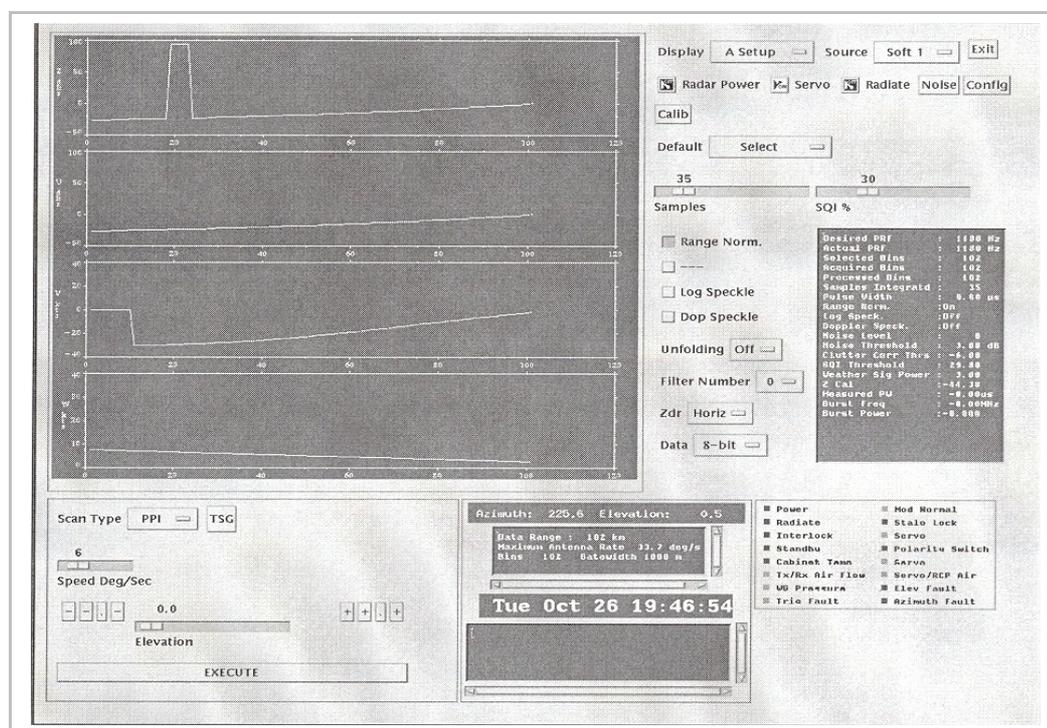


Figura 41 – Tela do EDGESYS de valores de refletividade em dBZ

A figura 42 apresenta um zoom na tela que apresenta os valores referentes aos sinais detectados durante as medições.

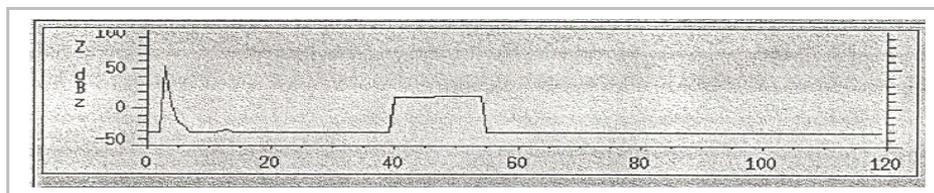


Figura 42 - Zoom da tela de apresentação do software EDGESYS

Observa-se que os valores são apresentados de forma direta, e o sinal detectado em dBm são processados e convertidos para dBZ diretamente, podendo fazer-se a relação direta dos sinais irradiados pela antena fonte e detectados pela antena do radar em teste e devidamente processados no DWSR 95-S.

3.13. CONCLUSÃO

As medições de campo realizadas e todo o estudo efetuado em metodologias de medidas de antenas, de detalhes técnicos e de pesquisas com os necessários e indesejáveis radomos, embasou este trabalho de forma a conceitua-lo de forma excepcional. As medições de campo para se obter o padrão de radiação de antenas não são recomendadas, principalmente pela grande dificuldade de infra-estrutura e logística nos locais onde as antenas operam. Outro fato relevante é o campo de propagação estar longe de ser um local adequado para a medição de padrão de radiação de antenas em função do ambiente externo estar totalmente fora de controle e adequação. A metodologia aplicada na obtenção das medições obtidas e apresentada neste trabalho são pertinentes e dentro do que sugere a literatura. Os resultados coletados, analisados e apresentados no próximo capítulo, levaram ao conhecimento e confirmação dos problemas apresentados pelo radar meteorológico DWSR 95-S operado pelo SIMEPAR. As devidas e necessárias conclusões da análise dos dados coletados nas medições explicitadas, serão apresentadas no capítulo final, que concluirá o trabalho de dissertação proposto.

3.14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Artuzi, W. A., **Finite Element Time Domain Method Using Piecewise Constant Basis Functions**. Proceedings of SBMO/IEEE MTTs, IMOC 2003, Foz dolguaçu, Brazil, 2003, pp. 1029-1032.
- [2] Balanis, C. A., **Antenna Theory: Analysis and Design** – Harper and Row 2nd ed .- New York, 1997 – Cap. 2 e16.
- [3] Brown, J., Jull, E. V., **The Prediction of Aerial Patterns From Near-Field Measurements**, IEEE (London), Paper N. 3469E, pp. 635-644, Novembro 1961.
- [4] Chang, K., Schuss, J. **Computer Simulation od Radome Effects for The Doppler Weather Radar Antenna System**. Raytheon Company, Equipament Division. IEEE Trans Antennas and Propagat., 1542 -1545. 1989
- [5] Hemming, L. H., Heaton, R. A., **Antenna Gain Calibration on a Ground Reflection Range**. IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol AP-21, N. 4, pp. 532-537, Julho 1973.
- [6] Hollis, J. S., Lyon, T. J., Clayton, L., **Microwave Antenna Measuments**. Scientific-Atlanta, Inc., Atlanta, Georgia, Julho 1970.
- [7] Johnson, R. C., Ecker, H. A., Hollis, J. S., **Determination of Far-Field Antenna Patterns from Near-Field Measurements**, Proc. IEEE, Vol. 61, N. 12, pp 1668-1694, Dezembro 1973.
- [8] Kim, J. J., Kesler, O. B., **Performance Analysis of Radar Antenna Systems**. Raytheon Systems Company – IEEE AES Systems Magazine, June 1999.
- [9] Knyazeva, A., Artishev, A.I. **The Mathematical Model Of Antenna And Antenna-Radome System**. Technique University, Moscou, Russia. IEEE 7803-7881. 2003. - International Conference on Antenna Theory And Techniques, 9-12 Setembro, 2003 – Sevastopol, Ukraine.

- [10] Kummer, W. H. (chair). **Measurement of the Electrical Properties of Radomes**. Capítulo 14 em **IEEE Standard Test Procedures for Antennas**: IEEE Std 149-1979. Estados Unidos da América: IEEE, 1979.
- [11] Manz, A., Handwerker, J., Hannesen, R., Mang, M.L., Gysi, H. **Radome Influence on Weather Radar Systems with Emphasis to Rain Effects**. International Conference on Radar Meteorology AMS Conference. Montreal, Canada, 12-16 Julho, 1999.
- [12] Moeller, A. W., The **Effect Reflections on Antenna Test Range Measurements**. Microwave Journal, Vol. 9, pp.47-54, Março 1966.
- [13] Newell, A. C., **Current State-of-Art in Near-Field Antenna Measurements**. Nearfield Systems Inc. and NIST Retired. IEEE 0-7803-7070-8/01 pp. 420-423 – 2001.
- [14] Richmond, J. H., **Simplified Calculation of Antenna Patterns, with Application to Radome Problems**. nAntenna Lab. Depto Elec. Engrg., Ohio State University, Columbus – 1955.
- [15] Shavit, R., **Scattering Effect Seams on Sandwich Radome Performance**. IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 46, pp. 335-343, Fev.ro 1996.
- [16] Tricoles, G. P. **radomo Electromagnetic Design**. Cap. 31 em **Antenna Handbook: Theory, Applications, and Design – Part D: Related Topics**. Estados Unidos da América: Van Nostrand Reinhold Company, Inc., 1988.
- [17] Wells, T., Cohen, A. **Far Field Measurement of Radome Scattered Fields**. Electronic Space Systems Corporation, USA. IEEE. Antenna and Propagat. no. 407, abril 1995.
- [18] Yan, B., Saoudy, S. A., Sinha, B. P. **Validation of Direct and Indirect Far-Field Antenna Measurements at Memorial University's Eletromagnetic**

Facilities. Memorial University of Newfoundland St. John's – Canadá, A1B 3X5 – IEEE 0-7803-3716 pp. 343-346 – 1997.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo se apresenta as análises e interpretações dos resultados obtidos no trabalho realizado, bem como sua correlação com as deficiências observadas nos produtos coletados pelo radar.

4.1. INTRODUÇÃO

A parte fundamental e esperada de um trabalho de pesquisa se concentra na análise de seus resultados. O estudo e avaliação detalhada das medições de campo em comparação com as medições de fábrica, juntamente com os problemas observados nos dados coletados pelo DWSR 95-S, convergeram de maneira clara e conclusiva para o entendimento pretendido neste trabalho. Sucederam-se três baterias de medições, sendo uma em campo próximo e duas em campo distante, onde se obtiveram resultados diferentes, embasados na literatura pertinente e com foco voltado na busca do entendimento do assunto e culminando com um resultado que atender não somente a necessária contribuição científica do assunto, como apresenta conhecimento da deficiência observada na utilização do equipamento de radar operacionalizado pelo SIMEPAR. Procurar-se-á caracterizar a necessidade de cuidados em especificações técnicas de compra de equipamentos semelhantes, bem como de se exigir dos fabricantes a realização de medições do padrão da antena para se conhecer o diagrama de radiação da antena de radar meteorológico com o radomo instalado.

4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As medições realizadas em campo agregam conhecimentos no entendimento dos problemas observados nos produtos coletados pelo radar meteorológico DWSR 95-S. O trabalho proposto contextualiza o conhecer da influência do radomo no diagrama de radiação da antena de radar meteorológico, com foco no nível relativo de lóbulo lateral e no espalhamento da energia irradiada e não houve preocupação em se conhecer novo valor de nível relativo de ganho dos lóbulos, mas sim a relação de ganho entre si, bem como conhecer a concentração e/ou espalhamento da energia irradiada pela antena do radar.

Houve perdas de ganho do lóbulo principal, de onde se obtém a medida da abertura do feixe, pois se há mudança no nível relativo de lóbulos e dispersão da energia irradiada, há decréscimo do ganho efetivo do lóbulo principal. Ratifica-se

que as medidas foram coletadas e processadas pelo próprio sistema de detecção e conversão dos dados do radar que apresenta valores de refletividade também em escala logarítmica e portanto referenciada em dB.

Na medição de campo próximo apresentado na figura 43 e 44, corte em azimute e elevação respectivamente, observa-se um diagrama confuso e de nível relativo entre lóbulos bastante prejudicado, bem como clara dispersão no campo de radiação, alterando sensivelmente a energia irradiada pelo lóbulo principal e a abertura da antena mostrou-se totalmente prejudicada em se tratando de uma antena de radar, se comparados com o perfil realizado em fábrica. Na linguagem coloquial, os valores obtidos na medição de campo próximo, apontam para um radar meteorológico de vários 'olhos', pois seu diagrama de radiação apresenta clara evidência de medição imprópria ou de total prejuízo da desejada eficiência da antena. Vale ressaltar que as medições de fábrica apresentadas nas figuras 10 e 11 do capítulo 2, foram obtidas sem a instalação do radomo.

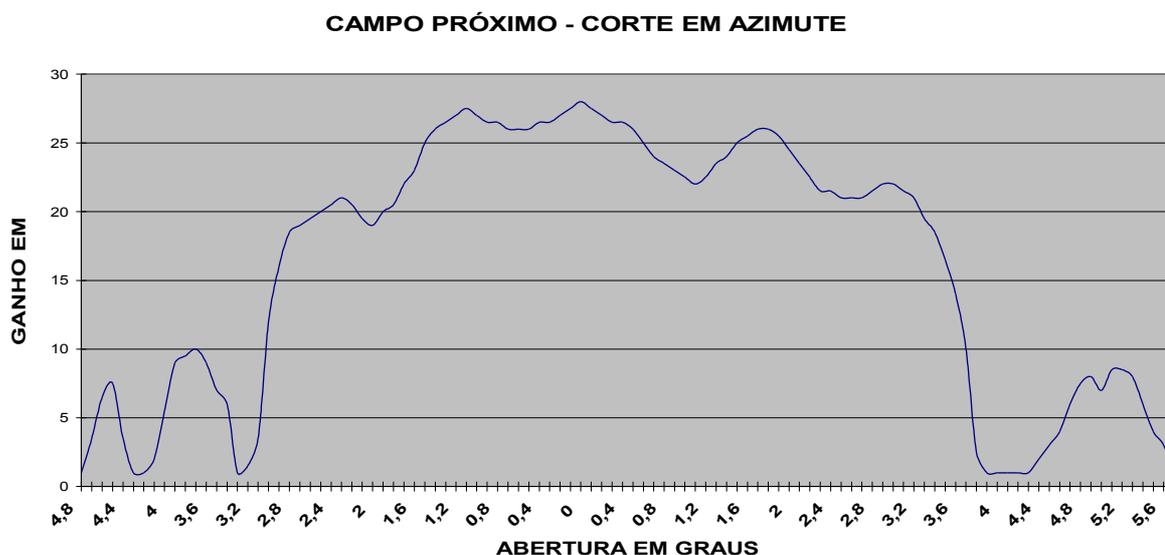


Figura 43 – Gráfico das medições em campo próximo corte em azimute

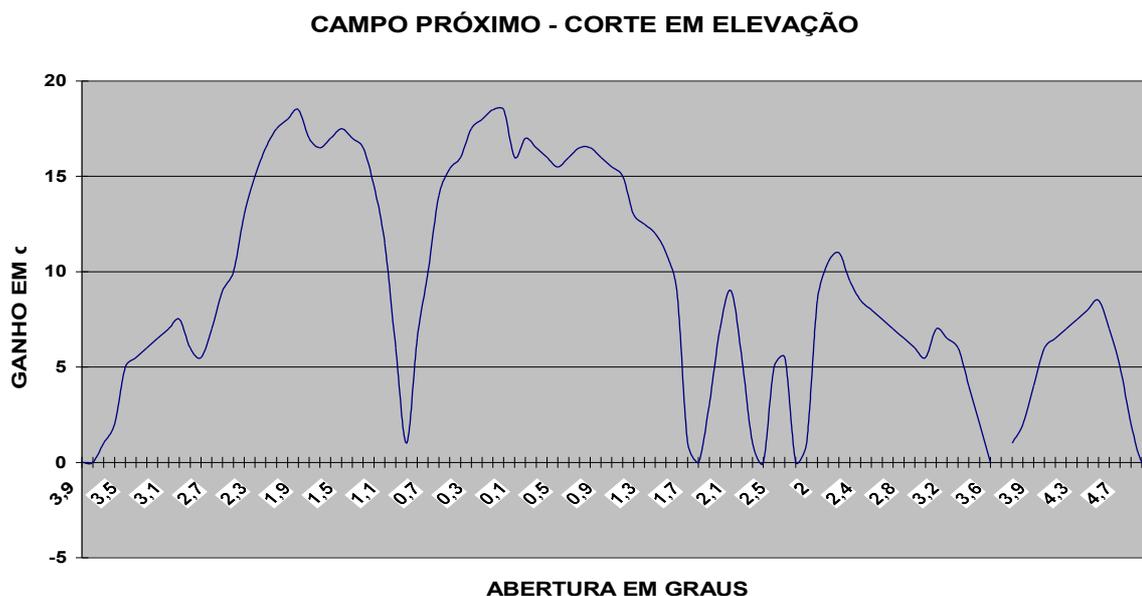


Figura 44 – Gráfico das medições em campo próximo corte em elevação

As figuras 45 e 46 apresentam os resultados obtidos na primeira medição de campo distante, corte em azimute e elevação respectivamente, onde pode-se considerar aparente melhora, mas ainda com valores que deixariam o padrão de radiação da antena categorizado como de baixa eficiência e impróprio para uso em radar meteorológico, como abordado por diversos autores [11], [12], [13].

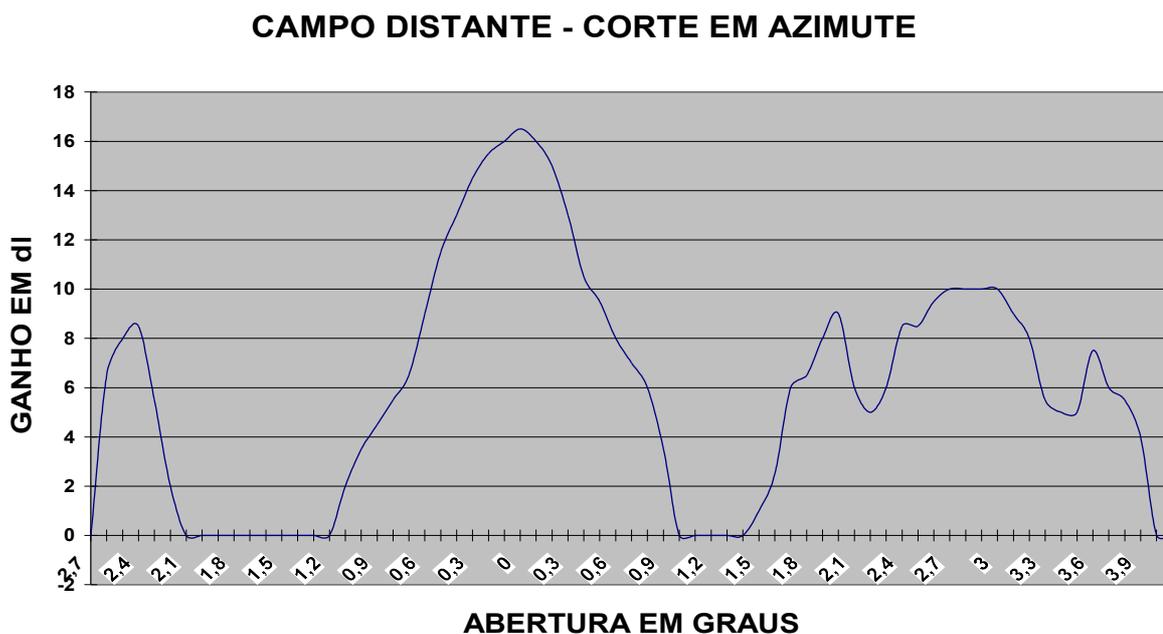


Figura 45 – Gráfico das medições em campo distante corte em azimute

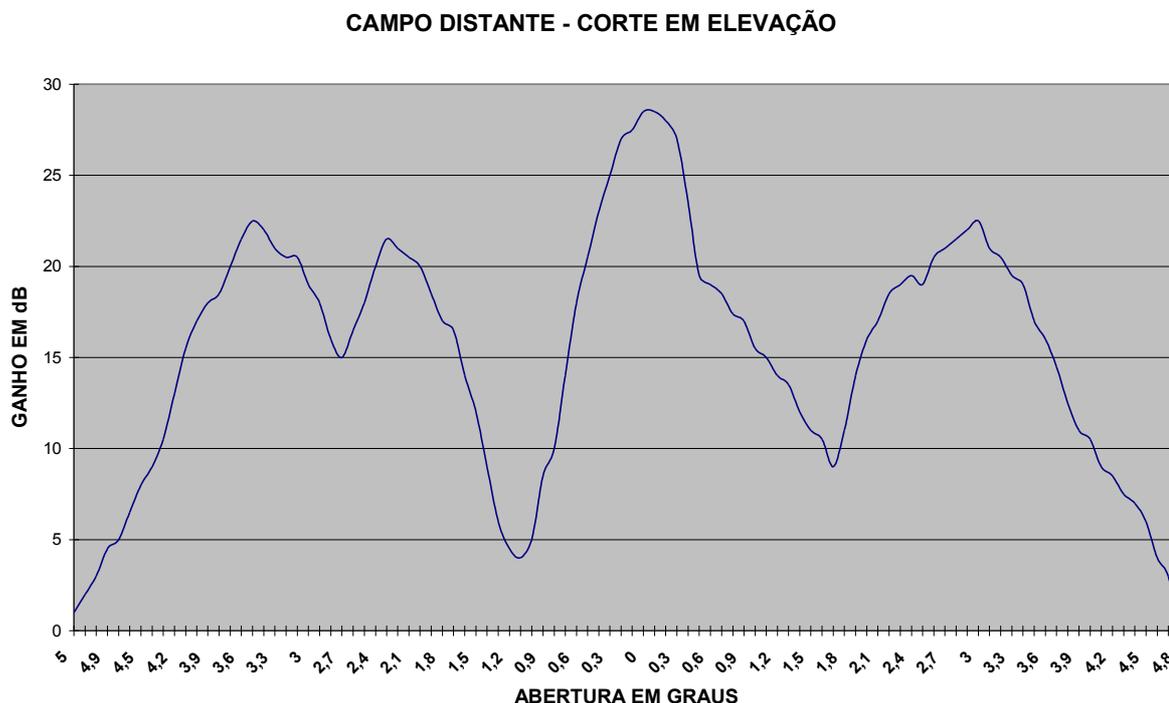


Figura 46 – Gráfico das medições em campo distante corte em elevação

As medições de campo distante se comparadas com as de campo próximo e de fábrica, mostram-se confusas e de conclusões dúbias quanto a validação. Primariamente concluindo-se que o radomo de fato acarretava prejuízos bem maiores do que previsto na literatura específica. Em todos os gráficos obtidos das medições, nota-se grande dispersão da energia no campo de radiação e a o nível relativo de lóbulo lateral intensamente prejudicado, bem como a abertura da antena com valores preocupantes. No campo de propagação no sítio, observou-se maior quantidade de vegetação e sua real influência nas medidas realizadas não foram consideradas, embora a determinação do local de medição tenha sido principalmente determinado em função da maior altitude de alinhamento focal das antenas e menor quantidade de obstáculos.

4.5. VALIDAÇÃO DAS MEDIÇÕES

Uma vez em posse dos resultados das medições obtidas tanto nas medidas de campo próximo como nas de campo distante, foi-se em busca da validação dos mesmos. Revisto a literatura tutorial da metodologia de realização das medidas e em

discussão proposta pelo orientador da dissertação, foi questionado a questão do devido apontamento das antenas, frisando da necessidade de certificar-se do perfeito apontamento da antena fonte, pois se apenas se fizer a varredura de apontamento para o maior nível de sinal da antena em teste, no caso a antena do radar confinada no radomo, poderia apontar para um lóbulo secundário de emissão da antena fonte ou ainda para fora do centro de radiação do lóbulo principal da mesma e quando da varredura da antena em teste, certamente proporcionaria erros na formação do lóbulos no padrão da antena em teste, e conseqüente informações errôneas quanto a dispersão e nível relativo dos lóbulos de radiação [2], [3], [7], [12], [13], [18]. Como este aparente pequeno detalhe não foi realizado quando das medidas de campo anteriores, concluiu-se com a necessidade da realização de novas medições em campo distante.

4.6. SEGUNDA MEDIÇÃO DE CAMPO DISTANTE

Novamente se montou toda a estrutura de campo e as medidas de campo distante foram repetidas para o mesmo local de realização da primeira medida. A figuras 47 e 48 apresentam os resultados obtidos na segunda medida realizada em campo distante de Fraunhofer e desta feita, após o melhor apontamento em azimute e em elevação realizado com a antena em teste, fez-se adicionalmente varreduras com a antena fonte, certificando-se que o foco das antenas estavam na maior amplitude de sinal, garantindo um desenho mais preciso do diagrama de radiação da antena do radar meteorológico em teste confinada no radomo.

Observa-se que própria aparência do gráfico gerado é mais agradável e pertinente, principalmente em se comparado com o padrão da antena obtido nas medições de fábrica sem o radomo, bem como os valores observados e analisados enquadram-se como pertinentes e esperados para a referida medição.

CAMPO DISTANTE - CORTE EM AZIMUTE (2)

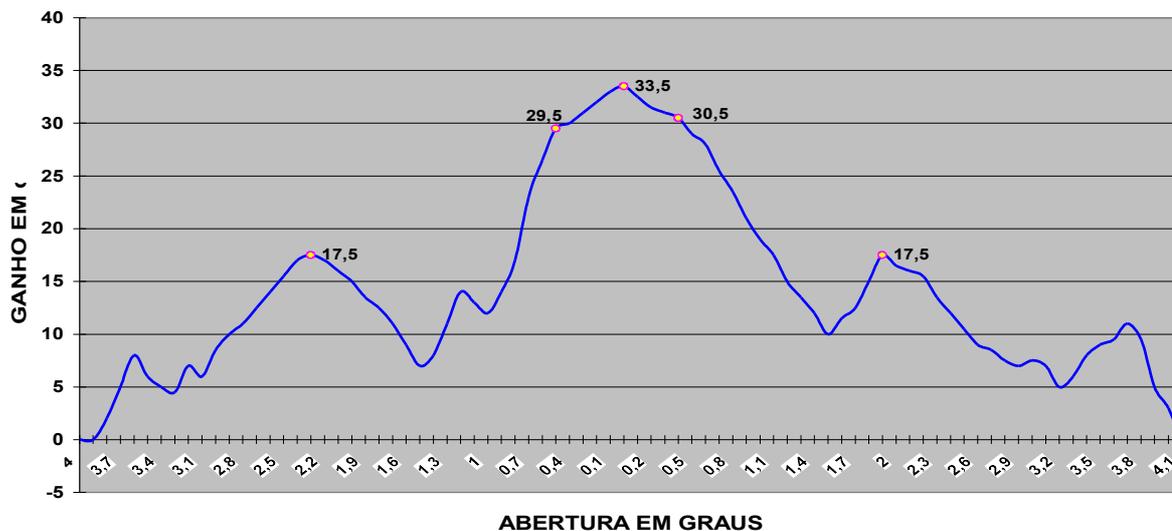


Figura 47 – Gráfico do padrão de radiação do DWSR 95-S com *radomo* – Corte em azimute.

CAMPO DISTANTE - CORTE EM ELEVAÇÃO (2)

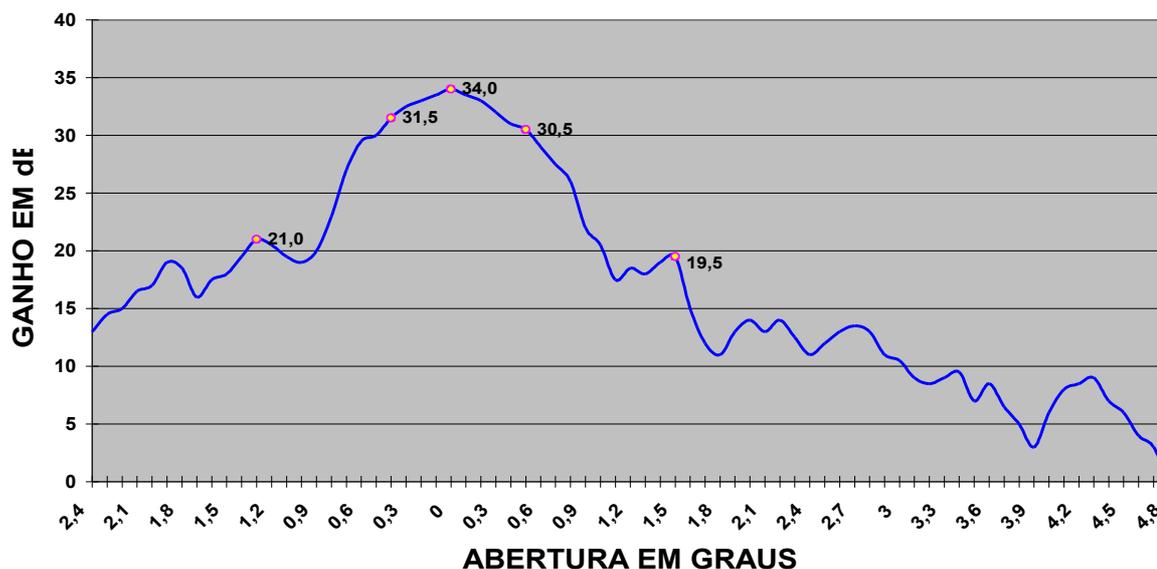


Figura 48 – Gráfico do padrão de radiação do DWSR 95-S com *radomo* – Corte em elevação.

Observa-se nos gráficos da segunda medição de campo distante (2), que a instalação do radomo inferiu dispersão na energia irradiada pela antena do radar. O nível relativo de lóbulo lateral foi visivelmente prejudicado, já observado nos dados coletados pelo equipamento e agora comprovado pelos valores obtidos nas medições. Tendo-se como base as medições efetuadas em fábrica sem o radomo e a segunda medição de campo distante efetuadas no sítio do radar com o radomo,

nota-se visível diferença no nível relativo de lóbulo lateral e não somente em relação aos primeiros lóbulos laterais, como também nos demais lóbulos secundários, caracterizando o abordado na literatura clássica dos radomos, de inserirem dispersão no padrão de radiação das antenas confinadas [5], [6], [7], [8], [9]. As figuras 49 e 50 rerepresentam os gráficos digitalizados das medições realizadas em fábrica para análise e comparação de valores.

FÁBRICA - CORTE EM AZIMUTE

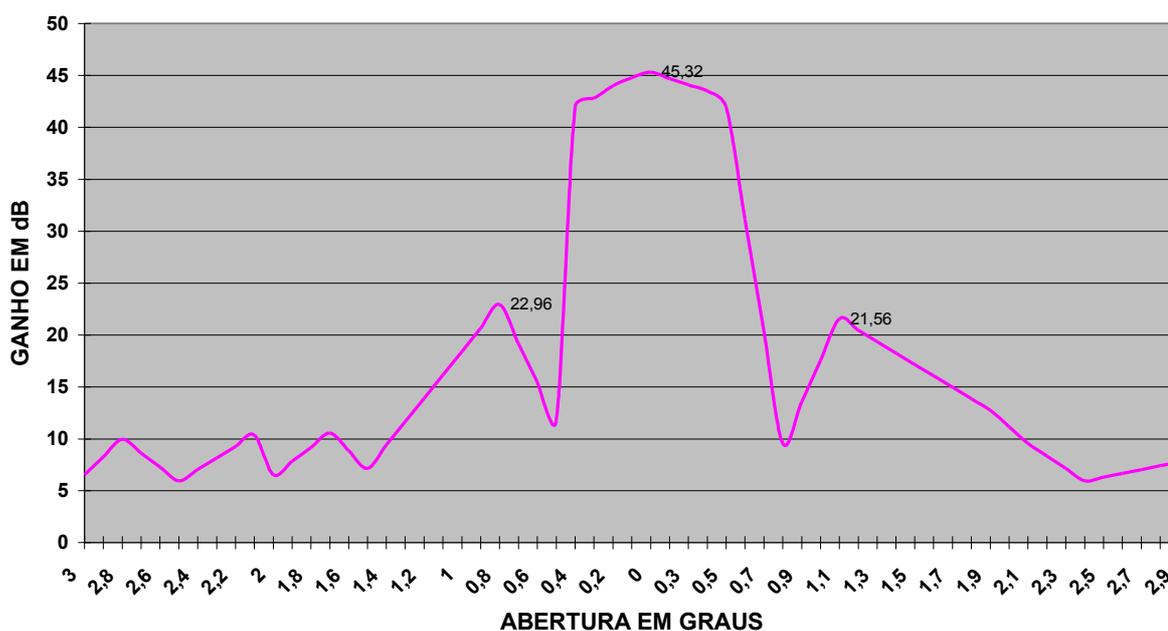


Figura 49 - Gráfico do padrão de radiação do DWSR 95-S sem *radomo* – Corte em azimute

Ratificando o objetivo do trabalho em conhecer a influência do radomo no diagrama de radiação da antena, aborda-se os valores em dB referenciando-os como valores à baixo do ganho do lóbulo principal, nível relativo de lóbulo lateral (RSL), dB abaixo em relação ao ganho do lóbulo principal, que se considerando o obtido em fábrica é de 45,6dB.

FÁBRICA - CORTE EM ELEVAÇÃO

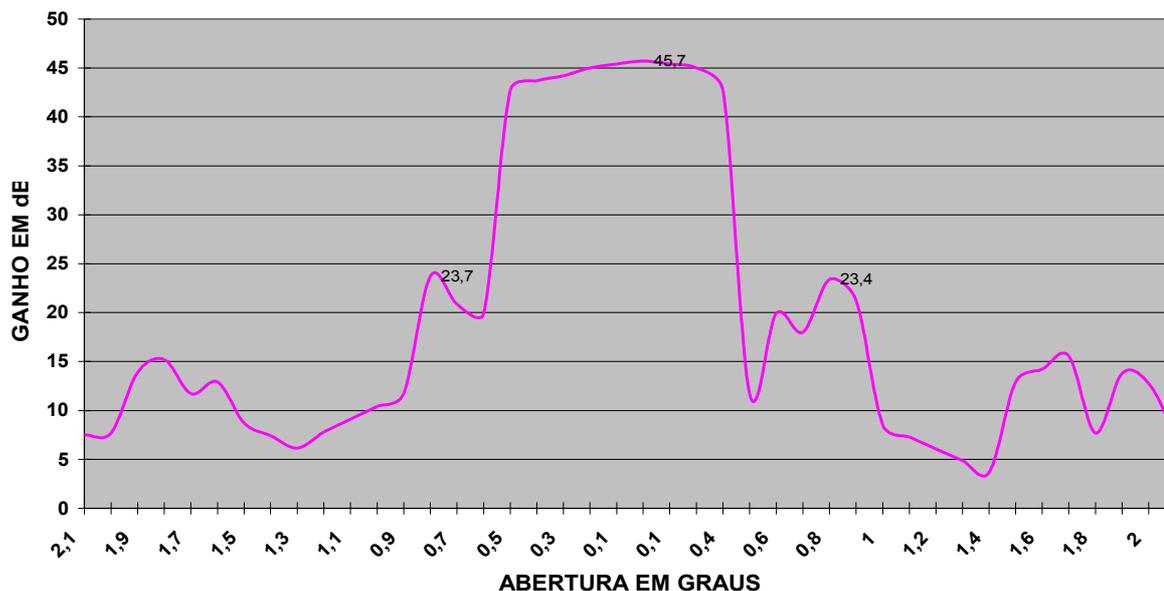


Figura 50 - Gráfico do padrão de radiação do DWSR 95-S sem radomo – Corte em elevação

Considerou-se valores médios do nível relativo dos lóbulos, entre os da direita e esquerda no corte em azimute e de cima e de baixo no corte em elevação e analisando os valores, tem-se para o primeiro lóbulo lateral a medida média de nível relativo de 15,6dB abaixo, caracterizado um incremento de 6,9dB em relação ao valor médio da medição de fábrica obtida sem a instalação do radomo de 22,5dB abaixo. Em se tratando de escala em dB, é notável o grande prejuízo inferido no nível relativo dos lóbulos e conseqüente espalhamento da concentração da energia pretendida para uma antena de radar, causado com a instalação do radomo utilizado no DWSR 95-S.

4.7. COMPARAÇÃO DAS MEDIÇÕES – FÁBRICA – CAMPO

Comparando os padrões das medidas obtidas em fábrica sem o radomo e em campo com o radomo, enfatiza-se a questão do espalhamento da energia, onde tem-se da medição de fábrica uma largura de feixe para o primeiro ponto nulo (FNBW) de 1,1 grau e 25,8dB abaixo para corte em elevação e 1,3 graus e 33,6dB abaixo para corte em azimute. A abertura em graus de afastamento do primeiro lóbulo lateral em relação ao principal obtida em fábrica é de 0,8 grau para corte em

elevação, para ambas as direções, alto e baixo, e para medidas do corte em azimute tem-se 0,8 grau para a direita e 1,1 grau para a esquerda.

Analisando as comparações, medições de fábrica e segunda medição em campo distante no sítio do radar, obteve-se de largura de primeiro ponto nulo (FNBW) 2,8 graus com 12,5dB abaixo para corte em elevação e 3,0 graus com 23,5dB abaixo para corte em azimute. Os primeiro lóbulo lateral apresenta-se à 1,3 grau de abertura em relação ao eixo central do lóbulo principal para alto e 1,5 grau para baixo no corte em elevação e 1,9 grau para à direita e 2,3 graus para à esquerda no corte em azimute. De tal análise comparativa obteve-se um incremento de 1,7 grau na abertura do primeiro ponto nulo e de 13,3 dB na relação dB abaixo para as medições de corte em elevação. Para as de corte em azimute o incremento na abertura do primeiro ponto nulo obtido é de 1,7 grau e na relação dB abaixo de 10,1dB. O incremento observado demonstra prejuízo no padrão de radiação da antena do radar DWSR 95-S, com espalhamento da energia irradiada.

As figuras 51 e 52 apresentam gráficos da comparação dos desenhos do padrão de radiação da antena referentes às medições de fábrica e de campo, para corte em azimute e elevação respectivamente. Destaca-se que os valores foram normalizados para possibilitar a comparação, mas o foco permanece na grandeza relativa de nível entre lóbulos, dB abaixo.

Observa-se claramente que a inserção do radomo na antena do radar meteorológico DWSR 95-S acarretou mudança significativa ao padrão de radiação da mesma, observando-se dispersão na distribuição e conseqüente desconcentração da potência irradiada. Ressalta-se que a eficiência e potencialidade de um equipamento de radar meteorológico é denotado principalmente pela sua capacidade de concentrar energia na transmissão.

COMPARAÇÃO - CORTE EM AZIMUTE

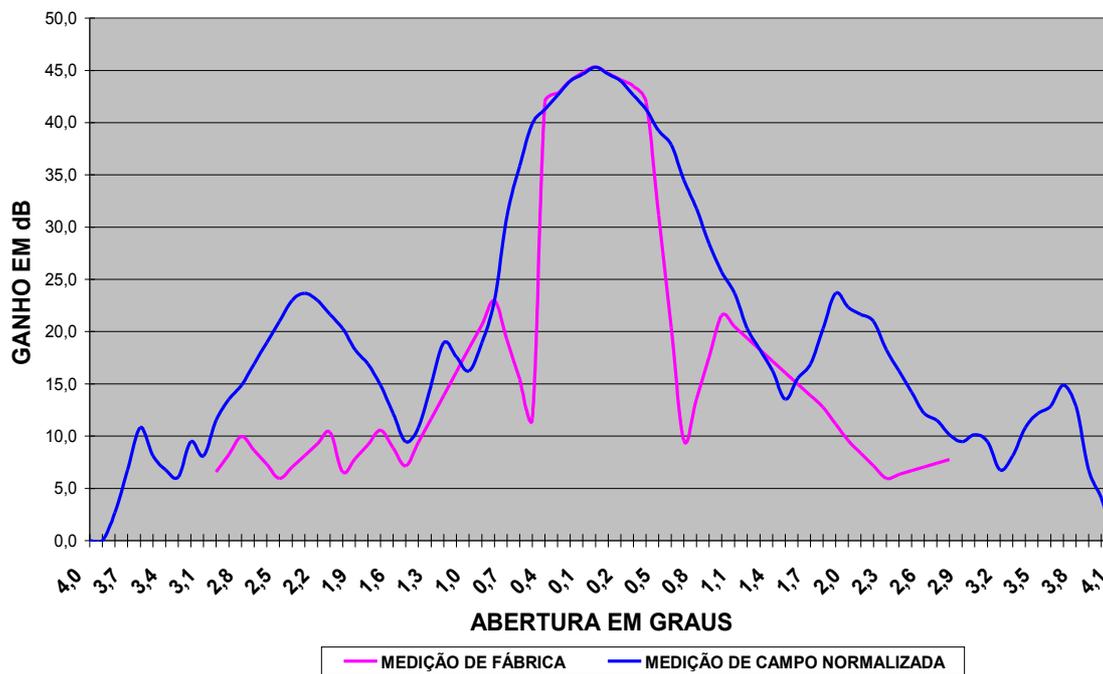


Figura 51 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em azimute

COMPARAÇÃO - CORTE EM ELEVAÇÃO

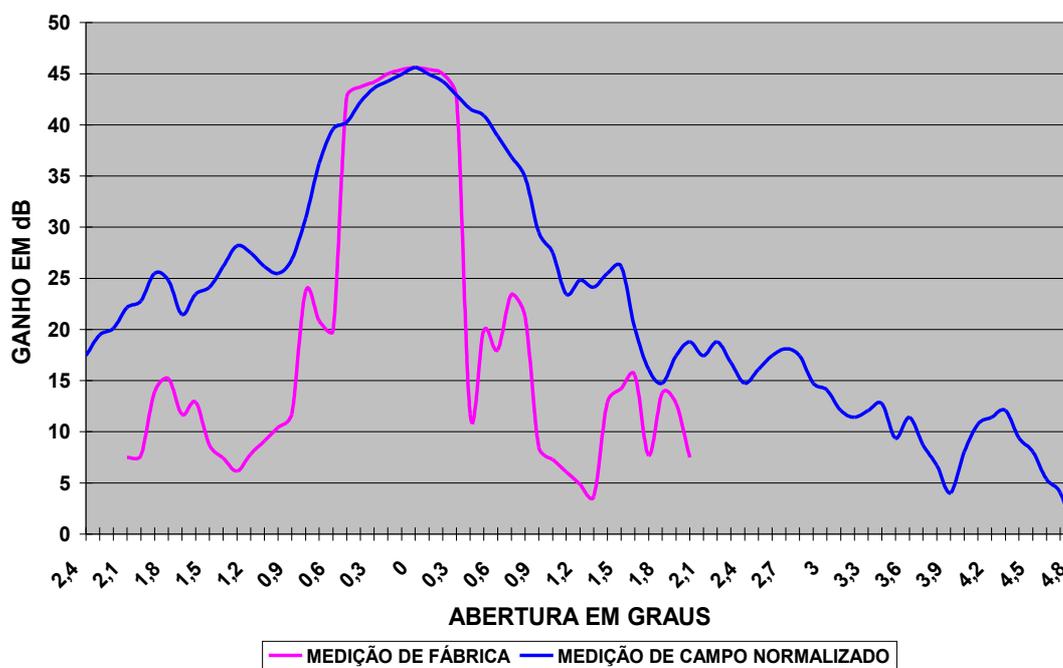


Figura 52 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em elevação

Normalizando os valores das medições de campo ao ganho da antena medido em fábrica, na amplitude máxima do lóbulo principal de 45,6dB, o incremento no nível relativo médio no ganho entre o lóbulo principal e secundário de 6,9 dB, altera os 22,5dB abaixo para apenas 15,6dB abaixo, caracterizando o prejuízo inferido no nível relativo de lóbulo lateral e conseqüentemente ao sistema irradiante do radar. Sem o radomo tinha-se o primeiro lóbulo lateral com ganho médio de 23,1dB, com a instalação do radomo de confinamento da antena, passa-se a ter o primeiro lóbulo lateral com ganho na ordem de 30dB, situação indesejável, principalmente pela forma de processamento dos sinais de radar considerar somente a altura média do lóbulo principal para alocar e quantificar os alvos detectados.

Destaca-se o espalhamento da energia, que deveria estar concentrada no lóbulo principal de radiação, mas que dispersa e incrementa os lóbulos laterais, e dificulta a detecção de alvos menores e de pouca refletividade. A medida da abertura ou largura do feixe, realizada à meia potência, ou seja, 3dB abaixo no ponto de maior concentração de energia, o lóbulo principal, manteve-se inalterado nos cortes em elevação e azimute. Embora o perfil do padrão de radiação da antena obtido na segunda medição de campo distante tenha se mostrado desconcentrado, o ponto de medida à meia potência manteve-se na ordem de 0,9 grau. Os prejuízos podem ser observados na falta de capacidade de detecção quando da execução de tarefas de alta sensibilidade de ar claro, no incremento da coluna vertical dos volumes observados e no incremento dos ecos de terreno detectados pelos lóbulos laterais amplificados e afastados.

4.8. INFLUÊNCIA DO LÓBULO NA ALTURA DA COLUNA VERTICAL

Destaca-se que o alcance eficiente de detecção dos lóbulos laterais observados limita-se ao raio de até 60km do radar, onde sua indesejável influência proporciona erros nas medições. A energia irradiada através dos lóbulos laterais, que com a inserção do radomo e conseqüente espalhamento da energia, aparece afastados do lóbulo principal em 1,3 grau para cima, proporciona um aumento do topo do volume da ordem de 227 à 1362m, para raios de distância entre 10 e 60 km, um incremento de 87 à 523 m se comparados com os valores de afastamento dos primeiros lóbulos laterais das medições obtidas em fábrica, observado na comparação apresentada na figura 53.

Digno de nota é que dentro os produtos gerados pelo sistema de radar tem-se o denominado altura do topo, onde objetiva-se conhecer a altura do topo do volume detectado. Para eventos que ocorram em até 60 km de distância de raio do radar, raio de alcance efetivo do primeiro lóbulo lateral, tal produto terá seu valor alterado. Considerando que topos de eventos acima de 12 km de altura são considerados perigosos no contexto meteorológico, os mesmos podem sofrer incremento de altura de topo da ordem de 10%.

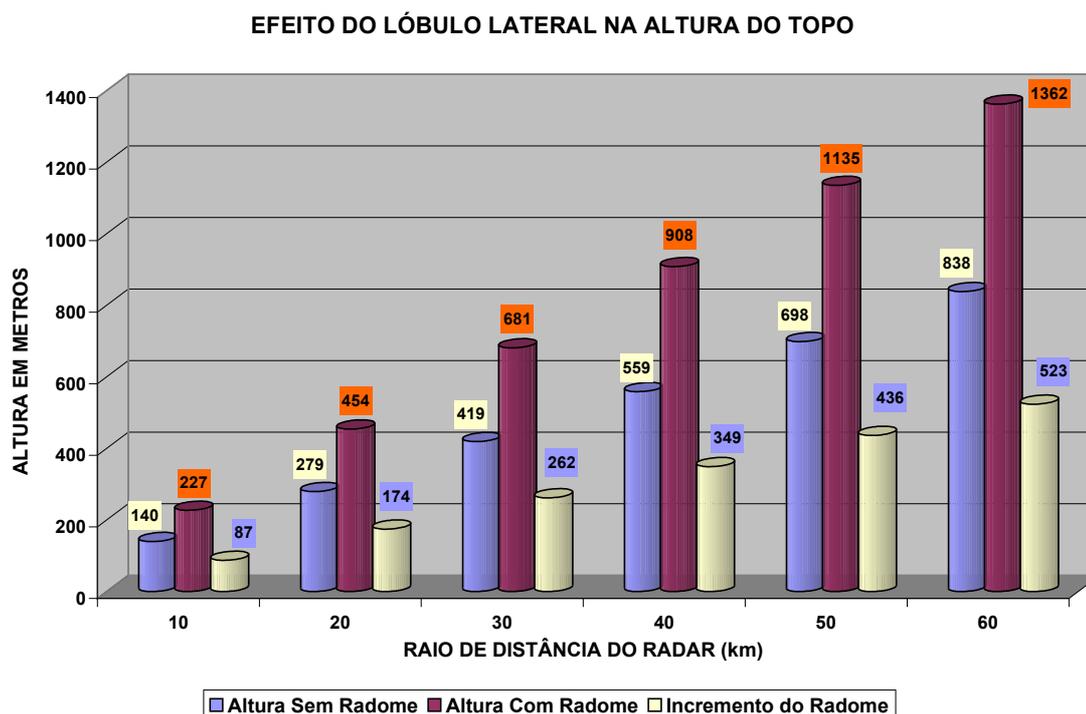


Figura 53 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em elevação

Com referência aos produtos relacionados com detecção de lóbulo lateral e sua localização de afastamento do lóbulo principal, tem-se o produto denominado *base*, que refere-se à menor altura do volume da chuva ou tempestade amostrada. Tal produto é de grande auxílio na interpretação quanto a se os volumes apresentados se tratam de chuvas em precipitação devido a altura de sua base. A figura 54 apresenta os erros que são inferidos aos produtos quando detectados pelo lóbulo lateral.

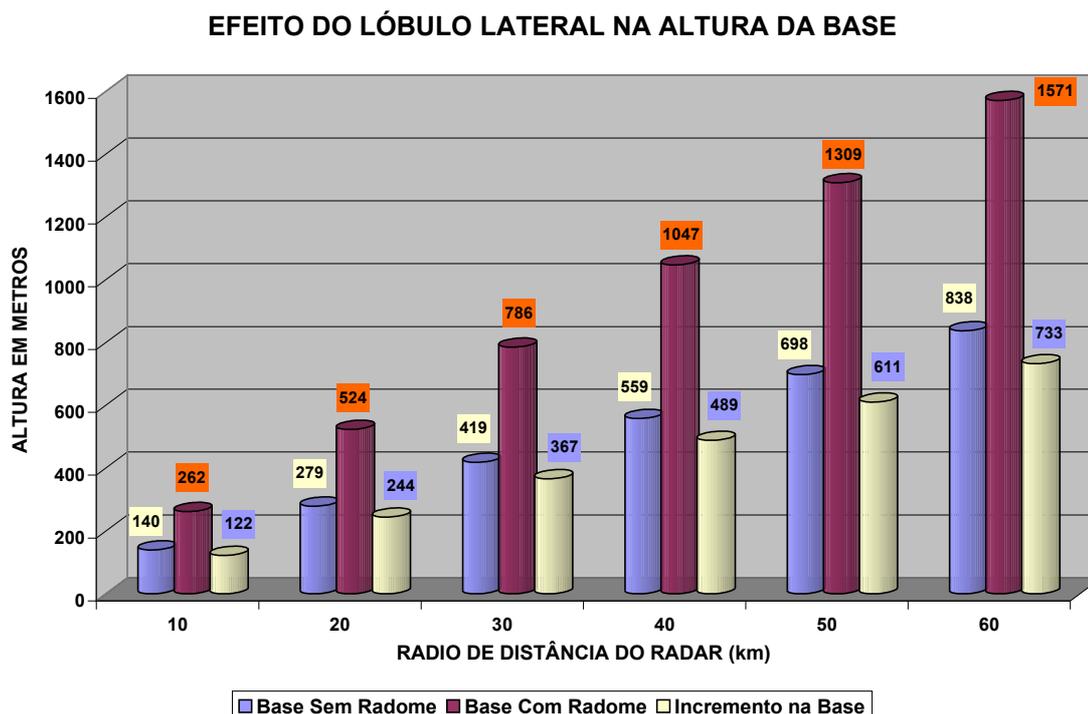


Figura 54 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em elevação

A avaliação da estrutura vertical da tempestade é informação de valor agregado para a classificação dos eventos detectados pelo radar meteorológico e digno de nota é a inferência de erros na coluna vertical com um todo, na somatória dos erros de topo e de base que são inferidos aos volumes coletados quando temos o evento sendo detectado pelo primeiro lóbulo lateral e localizado como sendo observado pelo lóbulo principal. Tal inferência está acima de 20% , valor significativo quando se trata de uma tempestade com altura da coluna vertical da ordem 10 à 12km. A figura 55 apresenta a comparação da coluna observada pelo DWSR 95-S com e sem radomo.

Após análise e consideração dos valores observados com a novo arranjo do campo de radiação da antena do radar, ressalta-se a grande importância de prover ao equipamento de radar meteorológico não apenas uma eficiente antena, como também um radomo adequado que minimize os efeitos prejudiciais inseridos no campo de radiação do conjunto irradiante do radar.

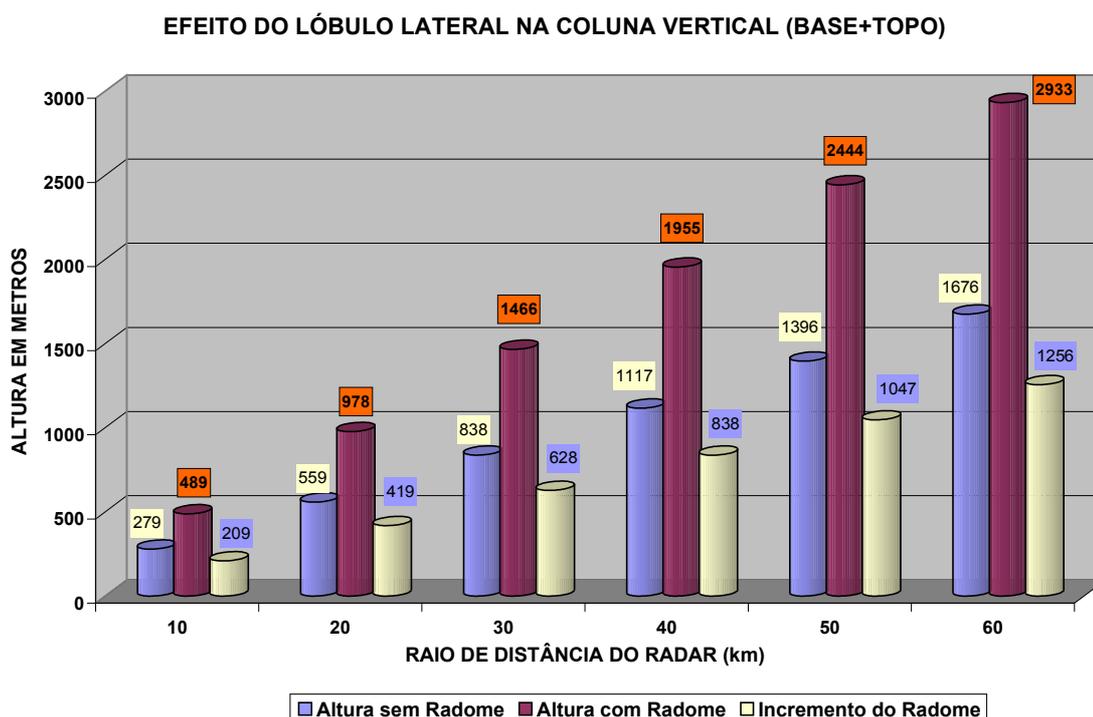


Figura 55 - Gráfico da comparação das medições de fábrica e campo – Corte em elevação

Vale destacar que a capacitação de um equipamento de radar deve-se iniciar com a concepção de um adequado conjunto irradiante, com alta concentração de energia em feixe estreito e conseqüente alto ganho, mas se atentar à necessidade premente do equipamento preservar tais potencialidades com o uso de um radomo adequado e que sua inevitável influência no padrão de radiação da antena, seja a menor possível, preservando o conjunto.

4.9. INCREMENTO DO LÓBULO NA PRECIPITAÇÃO

Neste trabalho enfatizou-se o estudo da influência do radomo no diagrama de radiação da antena do radar meteorológico, com destaque na avaliação da quantificação da influência do lóbulo lateral na precipitação. A figura 56 apresenta visualização gráfica do incremento causado pelo radomo no nível relativo do primeiro lóbulo lateral em relação ao lóbulo principal. Como já notado e citado nos diagramas de radiação, o incremento médio é da ordem de 6,9 dB.

INCREMENTO DO RADOME NO NÍVEL RELATIVO DO PRIMEIRO LÓBULO LATERAL

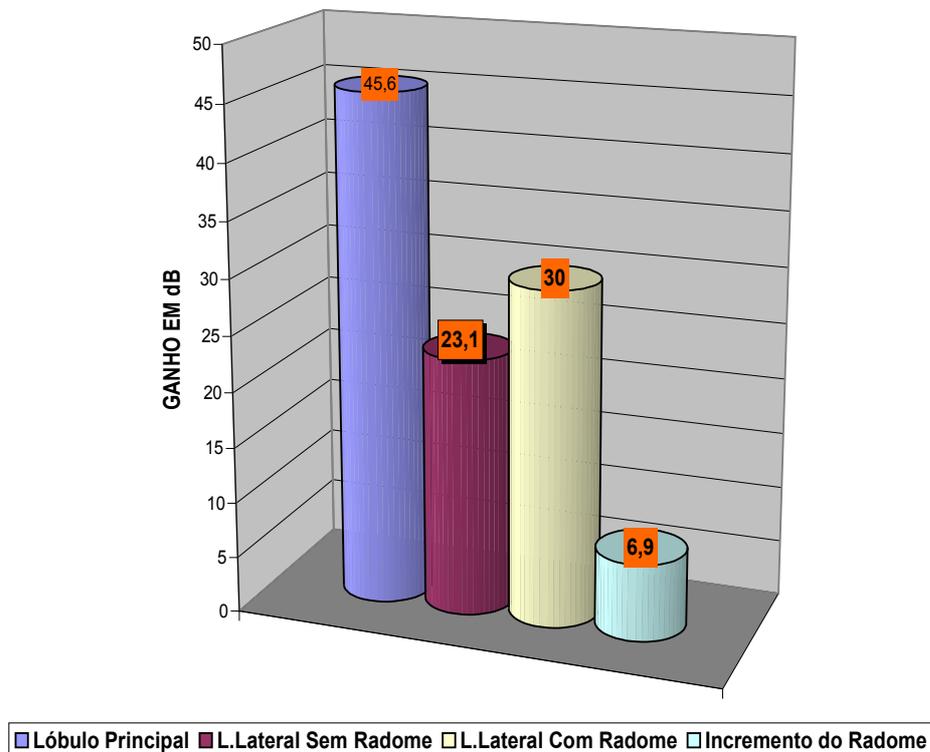


Figura 56 – Incremento do *radome* no nível relativo do lóbulo lateral

A figura 57 apresenta o complemento da informação destacando o incremento causado pelo radome nos dados coletados pelo radar no raio de alcance efetivo dos primeiros lóbulos laterais na refletividade nos referidos dados ou alvos detectados. Descrevendo o contemplado no gráfico, por exemplo suponha-se que o radar esteja detectando uma célula de chuva de forte intensidade da ordem de 50 dBZ, através do lóbulo principal da antena com ganho de 45,6 dB. Quando esta mesma célula de chuva for detectada simultaneamente pelo primeiro lóbulo lateral com nível relativo ao principal de 22,5dB abaixo, apresentará refletividade de 50 dBZ decrescido de 22,5 dB, para a medição de fábrica sem o radome, e de 15,6dB para a medição de campo com o radome. Após a devida conversão à unidade linear de refletividade 'z' (mm^6/m^3), soma-se e reaplica-se a escala logarítmica, obtendo-se o valor da refletividade incrementada, a saber, sem o radome de 27,5 dBZ e com o radome de 34,4 dBZ, um incremento de 33,4 dBZ, ou seja, para uma chuva classificada como forte, o primeiro lóbulo lateral infere um incremento de uma chuva de ordem fraca à moderada.

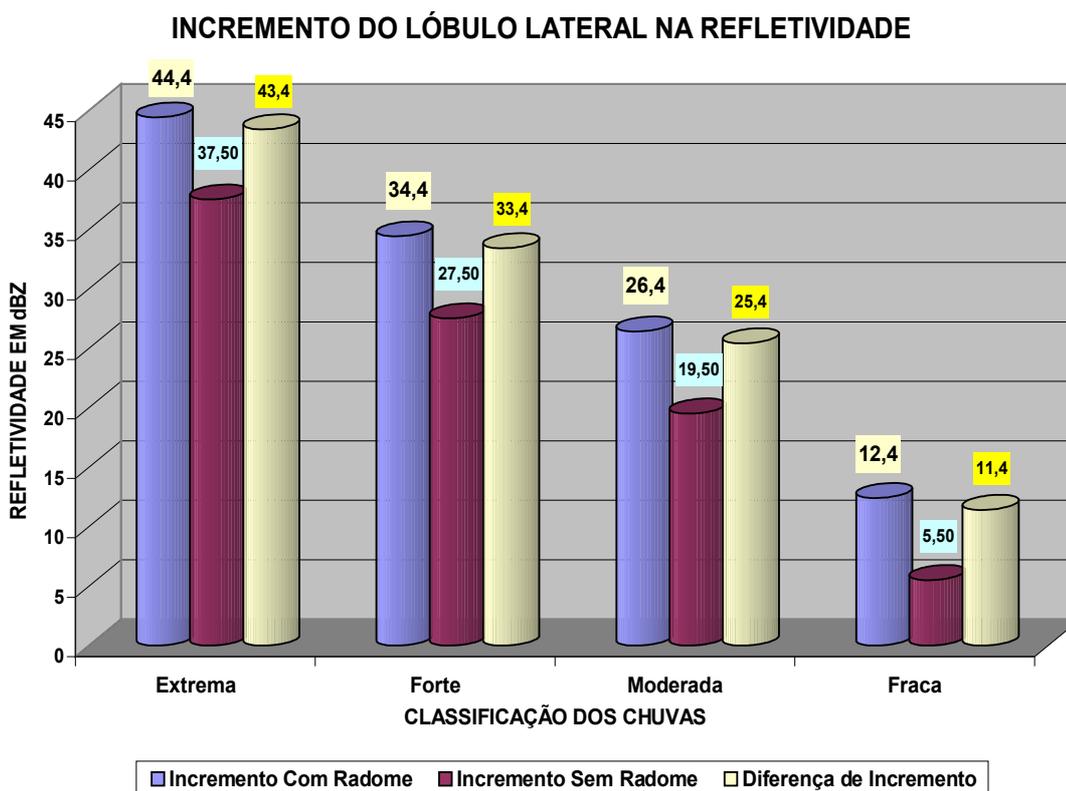


Figura 57 – Incremento do primeiro lóbulo lateral na refletividade (precipitação)

Vale ressaltar que a conversão de valores de refletividade 'Z' e dBZ obedecem as regras básicas específicas da matemática logarítmicas e as grandezas podem parecer errôneas se imaginadas ou analisadas de forma linear.

4.10. DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA

A eficiência de detecção de um sistema de radar está diretamente relacionada com sua capacidade de concentrar energia na transmissão do pulso. E neste íterim, tem-se denotado neste trabalho que as desejadas potencialidades de um equipamento de radar relaciona-se diretamente com a potência do transmissor associada à largura ou abertura de feixe da antena, mensurada principalmente pelo seu ganho. Embora tais características técnicas são matematicamente estimadas, sua real formação dá-se através da medição do padrão de radiação da referida antena. As possíveis inferências de fatores externos no campo de radiação da antena só podem ser conhecidos com a medição do padrão da antena. A potência gerada no transmissor é irradiada para o espaço segundo a formação dos lóbulos observados no diagrama de radiação da antena.

Tendo-se por base que a potência gerada, disponibilizada e transmitida é a mesma para o radar sem e com o radomo, a forma em que se dispõem os lóbulos de radiação são de importância na confirmação da concentração e/ou dispersão da energia transmitida.

Os gráficos das figuras 58 e 59 apresentam a comparação da distribuição da potência gerada e transmitida através do padrão de radiação da antena sem o radomo, obtido em fábrica, com o diagrama obtido nas medições de campo com o radomo instalado, corte em azimute e em elevação respectivamente.

Observa-se que com o novo padrão obtido em campo, a mesma potência é transmitida de forma desconcentrada, perdendo o ganho desejado no lóbulo principal de radiação, espalhando a energia para os lóbulos laterais, secundários e terciários. Em se tratando de uma antena de radar, onde ressalta-se que a concentração de energia figura entre suas principais potencialidades, a capacidade de discriminação de alvos se torna prejudicada, não otimizando atributos desejáveis das características técnicas do equipamento. Tal desconcentração de energia se comprova na deficiência observada nos produtos de alta sensibilidade, onde se necessita de concentração de energia, e que abordado em detalhes no tópico seguinte.

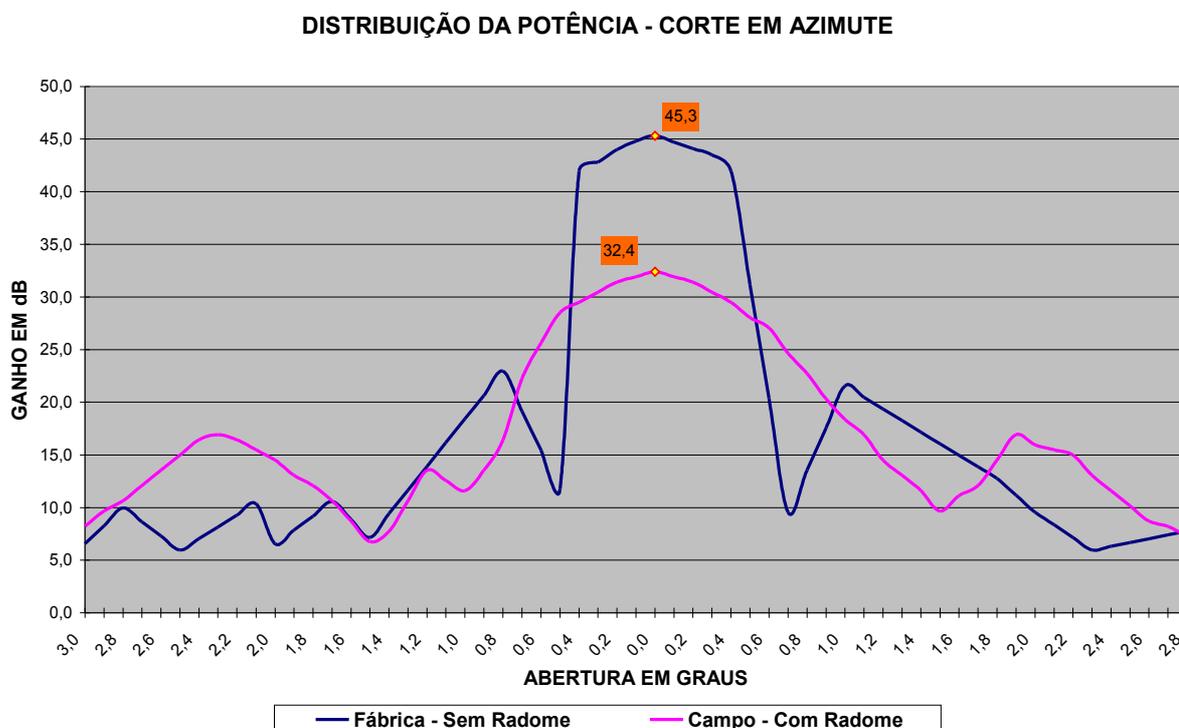


Figura 58 - Comparação da distribuição de energia - Medições de fábrica e campo – Corte em Azimute

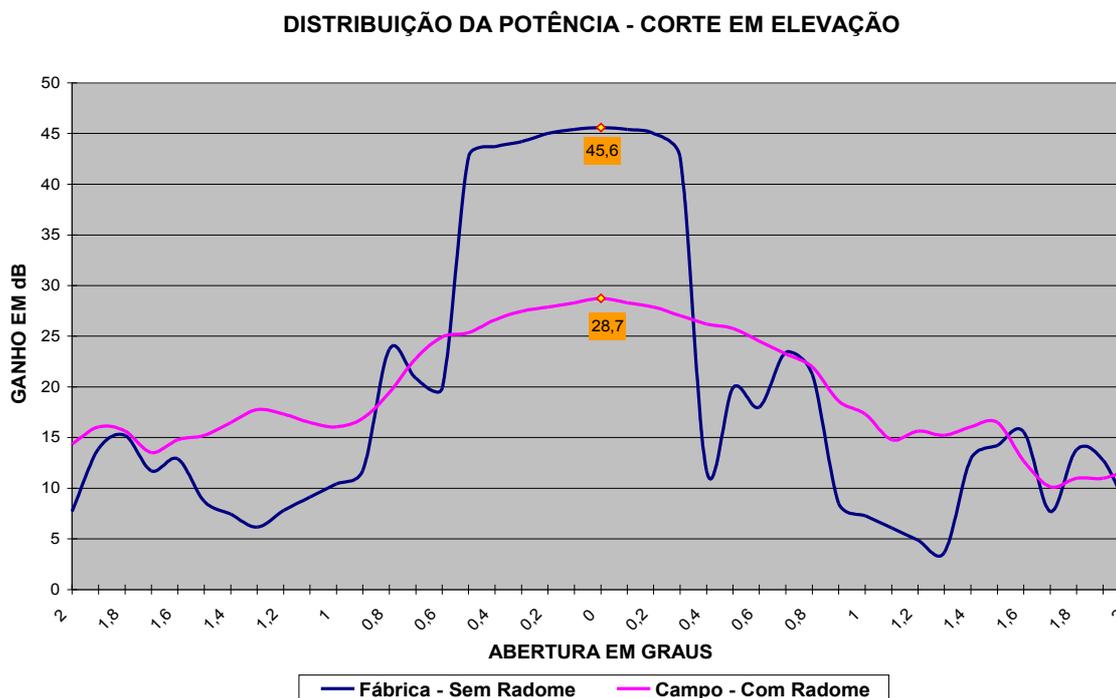


Figura 59 - Comparação da distribuição de energia - Medições fábrica e campo – Corte Azimute

4.11. COMPROVAÇÃO DA DEFICIÊNCIA OBSERVADA

Além do observado e destacado na explicitação da má configuração do equipamento de radar, uma das desejáveis características técnicas de um radar meteorológico é a alta sensibilidade. Tal característica se denota pelos baixos valores de MDS do equipamento, no DWSR 95-S na ordem de -112 dBm, (tabela 3) classificando-o teoricamente como um excelente equipamento para coletar produtos de ar claro, onde as condições climáticas oferecem poucos espalhadores de energia na atmosfera e conseqüente dificuldade de detecção e coleta dados. Dentre as funções e tarefas operacionais comum na operacionalização dos radares meteorológicos figuram as denominadas de céu claro (*Clear Air*). Trabalhos de pesquisas comprovam a eficiência dos radares meteorológicos Doppler em operar em ar claro para obter perfil vertical da atmosfera, comumente realizado por perfilador vertical da atmosfera ou através de radiosondas¹⁰. [2], [3], [4].

¹⁰ Equipamento de rádio transportado por balão e sensoriados em terra para traçar perfil de vento na atmosfera.

A detecção de ar claro realizada pelo radar meteorológico Doppler traça de imediato o perfil vertical da atmosfera, pois seus resultados são praticamente instantâneos.

Devido ao famoso 'dilema Doppler'¹¹, estas tarefas estão limitadas há um raio de até 60km do radar. Uma das características técnicas do radar que o qualifica para melhor executar as tarefas de ar claro é exatamente a capacidade de concentração de energia irradiada, dada pela potência do transmissor e abertura do feixe de radiação da antena. Era de se esperar do DWSR 95-S uma alta capacidade na tarefa referida, pois potência não lhe falta e a concentração da energia na antena se dá por uma abertura inferior a 1 grau. Entretanto as tarefas de ar claro são inconcebíveis para o equipamento, justamente em função da alta potência irradiada ocorrer de maneira dispersa pelos lóbulos de radiação, perdendo seu efeito de concentração no lóbulo principal em função do excessivo espalhamento causado pelo radomo. Desta forma, até a distância em que os lóbulos secundários tem capacidade de detecção, ou seja, na faixa de até 60km de raio do radar, o equipamento perde eficiência e não obtém o perfil vertical da atmosfera, pois é aproximadamente até esta distância que a referida tarefa de ar claro tem funcionalidades comprovadas.

Se faz necessário um comparativo com equipamentos de radar meteorológicos que fornecem o referido produto, com foco em suas características técnicas e que determinam sua potencialidade na obtenção de resultados válidos na realização da tarefa de ar claro. Da mesma família de radares DWSR, do mesmo fabricante EEC, modelo 88-S, com características consideradas inferiores, menor potência, 550 kWatts, menor sensibilidade de receptor, na ordem de -110 dBm e com antena de menor concentração de energia, abertura de 2,0 graus e menor ganho de antena, 37 dB. Operando na mesma faixa de frequência, 2800 MHz, tal equipamento apresenta resultados satisfatórios na coleta de dados de ar claro e a nível de características técnicas, um equipamento considerado inferior. Nota-se nos produtos obtidos com o radar DWSR 88-S, que os mesmos são de qualidade superior ao do DWSR 95-S, pois consegue coletar dados em ar claro com antena de menor ganho e maior abertura de feixe, mas com o detalhe de ter o radomo menor e constituído de painéis de geometria de menor influência no padrão de radiação da antena e de melhor nível relativo de lóbulos laterais [14].

¹¹ Compromisso entre capacidade em discriminar maiores velocidades e integração em distância.

Acrescenta-se que fazer investimento financeiro em equipamento de alta potência de transmissor, ganho de antena elevado e alta sensibilidade no receptor, mas com padrão de radiação de baixo nível relativo de lóbulo lateral, em função de radomo de baixa qualidade e que infere acentuada dispersão da energia irradiada, se torna totalmente inviável e impertinente. Vale ressaltar que o custo de um DWSR 95-S com antena de 1 grau é praticamente o dobro do DWSR 88-S com antena de 2 graus, dispensando salientar a questão do custo/benefício.

4.12. CONCLUSÃO

Os estudos e análise dos resultados obtidos nas medições de campo do padrão de radiação da antena do radar meteorológico DWSR 95-S concluem-se de maneira direta e pertinente ao esperado. A cotidiana observação de questões operacionais de aparente deficiência do equipamento na dificuldade de prover produtos com a qualidade esperada de uma ferramenta até então caracterizada com potencialidades desejáveis, principalmente os produtos de alta sensibilidade, e a excessiva intensidade e quantidade de ecos de terreno detectado. Os resultados condizem de forma harmoniosa com a literatura pertinente, de que um radomo à frente do campo de propagação de uma antena de alta, infere distúrbios no padrão de radiação de forma a desconcentrar a energia irradiada e alterar sensivelmente o nível relativo de lóbulo lateral. Diante dos estudos e da análise dos resultados obtidos na segunda medição de campo distante do padrão de radiação da antena do radar, comparado com as medições de fábrica para as mesmas variáveis e mesma metodologia de medidas, conclui-se que o radomo utilizado como confinante da antena do referido equipamento, apresenta forma e estrutura que sombream a antena de maneira a inserir grande dispersão da concentração de energia, e distribuindo a potência de forma a não atingir seu objetivo de concentração do feixe de RF e possibilitar a discriminação de alvos constituídos de espalhadores de menor seção transversal. O capítulo a seguir conclui esta dissertação com análise final e sugestão de trabalhos futuros.

4.13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Brown, J., Jull, E. V., **The Prediction of Aerial Patterns From Near-Field Measurements**, IEEE (London), Paper N. 3469E, pp. 635-644, Novembro 1961.
- [2] Calheiros, R. V., Gomes, A. M. **Impact of Radial Range on Clear Air Radar Derived Divergence Profiles**. In: 29TH Conference on Radar Meteorology, 1999, Montreal. Proceedings. Boston: American Meteorological Society , 1999. p. 133-137.
- [3] Calheiros, R. V., Gomes, A. M.; Lima, M. A. ; Antonio, M. A. **Wind Profiling in Clear Air: A Radar-Radiosonde Comparison**. In: INternacional Seminar on Advanced Weather Radar Systems, 1998, Locarno. Cost 75 Advanced Weather Radar Systems. Luxemburgo: Office for Official Publications of The European Communities, 1999. p. 678-687.
- [4] Gomes, A. M.; Calheiros, R. V., Lima, M. A. ; Antonio, M. A . **Validação do Uso do Radar Meteorológico Doppler na Obtenção do Perfil Vertical do Vento**. In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1996, Campos do Jordão. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996. v. 1. p. 49-52.
- [5] Huddleston, G. K., Basset, H. L. **Radomes**. Capítulo 44 em **Antenna Engineering Handbook**, 3th ed.– Part 4: Estados Unidos da América: McGraw-Hill, Inc., 1993.
- [6] Manz, A., Handwerker, J., Hannesen, R., Mang, M.L., Gysi, H. **Radome Influence on Weather Radar Systems with Emphasis to Rain Effects**. International Conference on Radar Meteorology AMS Conference. Montreal, Canada, 12-16 Julho, 1999.
- [7] NEXRAD JSPO, 1986: **Next Generation Weather Radar – Product Description document**. NEXRAD Joint System Program Office, R400-PD-202
- [8] Rusch, W.V.T., Hansen, J.A., Klein, C.A., Mitra, R. **Forward scattering from**

square cylinders in the resonance region with application to aperture blockage. IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 24, pp. 182-189, Março 1976.

- [9] Shavit, R., **Scattering Effect Seams on Sandwich Radome Performance.** IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 46, pp. 335-343, Fevereiro 1996.
- [10] Whiton, R.C., Smith, P. L. and Harbuck, A.C., **Calibration of weather radar systems using the sun as a radio source.** Preprint 17th Conf. Radar Meteorological., AMS, 60-67 – 1976.
- [11] Atlas, D., **Advances in radar meteorology.** Advanced. in Geophys. Vol.10, pp. 317-478. - 1964.
- [12] Doviak, R. J.,(1992). **Doppler Radar and Weather Observations.** Dusan S. Zrníc. -2nd ed. 562pp.
- [13] Reinehart, R. E.,(1991). **Radar for Meteorologists Part III.** University of North Dakota Press, 329 pp.
- [14] <http://www.ipmet.unesp.br> em 10/JAN/2006, 15:45h / 26/JUN/2006, 22:10h

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Neste capítulo se apresenta as considerações finais do trabalho realizado e proposta de trabalhos futuros.

5.1. INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da pesquisa, a conclusão de um trabalho nem sempre apresenta resultados favoráveis, mas se torna útil e aceitável quando há evolução de conhecimento do assunto, levando não só ao entendimento amplo da questão, como focando soluções a serem implementadas em trabalhos futuros. Esta dissertação abordou assunto de amplo conhecimento dentro do campo das pesquisas realizadas com radares meteorológicos, pois há muito que os usuários de produtos meteorológicos coletados por radares se preocupam com a qualidade das informações. Imaginar um anteparo à frente da antena é sem dúvida algo preocupante, tanto que em projetos futuros de implantação de sistema de radares meteorológicos devem conter especificação detalhada tanto da qualidade quanto de valores de radomo comprovados. O provável descuido nas especificações de compra do DWSR 95-S levou a aquisição de um equipamento limitado, que este trabalho detalhou e esclareceu, sendo uma contribuição às futuras especificações de sistemas. Dentro da contextualização e objetivos específicos propostos para este trabalho, obteve-se os resultados e apresentam-se as conclusões finais.

5.2. TRABALHOS FUTUROS.

O estudo apresentado nesta dissertação a cerca das deficiências observadas no radar meteorológico DWSR 95-S, aponta para vários trabalhos futuros. Conhecido que o problema se encontra na dispersão da energia radiada pela antena em função da concepção da alimentação da mesma e agravado pela instalação do radomo como anteparo a frente do campo de propagação, trabalhos de quantificação da dispersão inserida ao sistema são potenciais na abrangência do conhecimento do assunto. Realizar medidas do padrão de radiação por meio de convolução do espectro solar podem ser aplicados como medidas comparativas às medições realizadas neste trabalho [10], bem como uso de duas antenas padrão, com ganho conhecido, medindo interna e imediatamente externa ao radomo, pode-

se conhecer e comparar medidas de ganho e quantificar inferência do radomo no conjunto irradiante do radar com valores absolutos. Estudos de quantificação das possíveis melhorias do sistema irradiante se houver a troca do radomo atual por radomos de geometria quase-aleatórios, compatíveis com os utilizados na rede NEXRAD, pode ser outro trabalho de interesse. Avaliação e estudos da troca da própria antena para antenas com alimentação em *off-set* ou estudo de viabilidade e aplicação de metodologias conhecidas de redução de nível relativo de lóbulo lateral para a faixa de frequência operacional do radar; estudo dos reflexos das influências indesejáveis comprovadas neste trabalho em todos os produtos possíveis de serem gerados pelo sistema de radar em questão e com destaque sugere-se a realização de trabalho que apresente uma relação $Z-R$ ¹² que contemple as inferências do radomo no diagrama de radiação atual da antena do radar, figuram entre os potenciais trabalhos a serem realizados no sistema de radar meteorológico DWSR 95-S operado pelo SIMEPAR.

5.3. CONCLUSÃO FINAL

A realização deste trabalho pretende contribuir para o aprimoramento e conhecimento do assunto em questão, dando embasamento e qualificando o trabalho realizado. O estudo minucioso da metodologia aplicada, dos detalhes pertinentes às antenas de refletores parabólicos e principalmente os detalhes a respeito dos radomos, que até então eram meros confinantes de antenas, levaram a um trabalho exaustivo, mas amplamente recompensador e gratificante. Conheceu-se a influência do radomo no diagrama de radiação da antena do radar meteorológico DWSR 95-S, com medição de campo se obteve um novo desenho da formação dos lóbulos de radiação.

Inicialmente centrado em determinar a influência do radomo no nível relativo de lóbulo lateral, ampliou-se para avaliação completa do diagrama onde também contemplou avaliação detalhado do referido nível relativo.

Entendeu-se perfeitamente que as deficiências observadas nos produtos gerados pelo sistema como a excessiva detecção de ecos de terreno; incremento das refletividades; aumento da coluna vertical das estruturas de chuvas detectadas e incapacidade de detecção em ar claro, entre prováveis outras de produtos ainda não avaliados, estão diretamente associados aos efeitos indesejáveis causados pela

¹² Relação de equivalência de refletividade em dBZ e taxa de precipitação em mm/h

inserção do radomo, com características técnicas de mero confinador de antenas, à frente do campo de propagação da antena causando conseqüente desconcentração da energia radiada. Conclui-se que os prejuízos operacionais oriundos da alteração no padrão de radiação da antena relacionam-se diretamente com atividades de alta sensibilidade e discriminação de alvos menores. No contexto geral de detecção para produtos de refletividade, dentro da classificação de chuvas fracas à moderadas, a inserção dos incrementos podem ser corrigidos por equação Z-R e minimizados os efeitos na quantificação dos volumes na transformação dos dados para chuva precipitada em mm/h. Como já salientado, os produtos oriundos de informação Doppler, onde se requer maior sensibilidade e concentração de energia, a correção pode-se de imediato através da troca do discutido radomo. Conclui-se esta dissertação com conhecimento embasado e cumprindo do proposto, enaltecendo a realização do feito.

REFERÊNCIA GERAL

Referências Utilizadas nos Capítulos

CAPÍTULO 1

- [1] Atlas, D., **Advances in radar meteorology**. Advanced. in Geophys. Vol.10, pp. 317-478. - 1964.
- [2] Balanis, C. **Antenna Theory: Analysis and Design**. Harper & Row 2nd ed., New York, 1997 – Cap. 2 e 16.
- [3] Battan, L. J., **Radar Meteorology**. University of Chicago Press, 161 pp. 1959.
- [4] Beneti, C. A. A., Saraiva, E. A., Nozu, I., **Monitoramento da precipitação e de eventos de tempo severo com radar meteorológico no Estado do Paraná**. X Congresso Brasileiro de Meteorologia. VII Congresso FLISMET. Brasília – DF 11/1998.
- [5] Bodnar, D. G. (chair). **IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas: IEEE Std 145-1993**. Estados Unidos da América: IEEE, 1993.
- [6] Chakrabarti, S., Wong, J.C., Sivaprasad, G., Cho, S., **Radiation Patterns Visualizing Radiation Patterns of Antennas**. Electrical And Computer Engineering Department - University of Kansas - USA - 01/1990.
- [7] Doviak, R. J.,(1992). **Doppler Radar and Weather Observations**. Dusan S. Zrnic. -2nd ed. 562pp.
- [8] Huddleston, G. K., Basset, H. L. **Radomes**. Capítulo 44 em **Antenna Engineering Handbook**, 3th ed.– Part 4: Estados Unidos da América: McGraw-Hill, Inc., 1993.
- [9] J. R. Probert.,(1962) **The Radar Equation for. Meteorology**. Quart. J. Royal Meteor. Soc., 88, 485-. 495.
- [10] Kay, A.F. **Electrical design of metal space frame Radomes**. IEEE Trans.

Antennas Propagat., vol. AP-13, pp.188-202, Março 1965.

- [11] Knyazeva, A., Artishev, A.I. **The Mathematical Model Of Antenna And Antenna-Radome System**. Technique University, Moscou, Russia. IEEE 7803-7881. 2003. - International Conference on Antenna Theory And Techniques, 9-12 Setembro, 2003 – Sevastopol, Ukraine.
- [12] Kummer, W. H. (chair). **Measurement of the Electrical Properties of Radomes**. Capítulo 14 em **IEEE Standard Test Procedures for Antennas: IEEE Std 149-1979**. Estados Unidos da América: IEEE, 1979.
- [13] Manz, A., Handwerker, J., Hannesen, R., Mang, M.L., Gysi, H. **Radome Influence on Weather Radar Systems with Emphasis to Rain Effects**. International Conference on Radar Meteorology AMS Conference. Montreal, Canada, 12-16 Julho, 1999.
- [14] Manz, A., Sangiolo, J., Monk, T. **Radome Effects on Weather Radar Systems**. International COST 75 – Seminar on Advanced Weather Radar Systems. Locarno, Switzerland, 23-27 Março, 1998.
- [15] Orta, R., Tascone, R., Zich, R. **Performance Degradation od Dielectric Radome Covered Antennas**. IEEE. Antenna and Propagat. Vol. 36, no. 12. Dezembro 1998.
- [16] Pehl, E. **Mikrowellentechnik, Band 1:Wellenleitungen und aktive Bauteile**. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1984.
- [17] Reinehart, R. E.,(1991). **Radar for Meteorologists Part III**. University of North Dakota Press, 329 pp.
- [18] Rusch, W.V.T., Hansen, J.A., Klein, C.A., Mittra, R. **Forward scattering from square cylinders in the resonance region with application to aperture blockage**. IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 24, pp. 182-189, Março 1976.

- [19] Shavit, R., **Scattering Effect Seams on Sandwich Radome Performance.**
IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 46, pp. 335-343, Fevereiro
1996.
- [20] Shavit, R., Smolski, A.P., Michielssen, E., Mittra, R. **Scattering analysis of
high performance large sandwich Radomes.** IEEE Trans. Antennas and
Propagat., Vol. 40, pp. 126-133, Fevereiro 1992
- [21] Silver, S. **Microwave Antenna Theory and Design.** McGraw-Hill Book
Company, New York., 623 p.p. 1970.
- [22] Skolnik, M., **Radar Handbook – 2nd.** McGraw-Hill Book Company – New
York., Cap. 39. 1990.
- [23] Smolski, A.P., Ngai, E.C., Cohen, A. **Electromagnetic Design of Advanced
Sandwich Radomes.** Electronic Space Systems Corporation – Old Powder
Mill Road – Concord, MA 01742-4697 – 1994
- [24] Tricoles, G. P. **Radome Electromagnetic Design.** Cap. 31 em **Antenna
Handbook: Theory, Applications, and Design – Part D: Related Topics.**
Estados Unidos da América: Van Nostrand Reinhold Company, Inc., 1988.
- [25] Wells, T., Cohen, A. **Far Field measurement of Radome Scattered Fields.**
Electronic Space Systems Corporation, USA. IEEE. Antenna and Propagat.
no. 407, abril 1995.
- [26] Site: <http://www.myerseng.com/direcalc.html> _acessado em 25.05.2006 –
23:48
- [27] <http://www.radomos.org/museum/documents/BakerAFSORhoops.html>;
em 20/OUT/2005, 21:00h.

[28]

http://www.mitechnologies.com/Automated_Test_Equipment/radomo/html;

em 12/JAN/2006, 18:10h

CAPITULO 2

- [1] Manz, A., Handwerker, J., Hannesen, R., Mang, M.L., Gysi, H. **Radome Influence on Weather Radar Systems with Emphasis to Rain Effects.** International Conference on Radar Meteorology AMS Conference. Montreal, Canada, 12-16 Julho, 1999.

- [2] NEXRAD JSPO, **Next Generation Weather Radar – Product Description document.** NEXRAD Joint System Program Office, R400-PD-202. – 1986.

- [3] Reinehart, R. E.,(1991). **Radar for Meteorologists Part III.** University of North Dakota Press, 329 pp

- [4] Shavit, R., **Scattering Effect Seams on Sandwich Radome Performance.** IEEE Trans. Antennas and Propagat.,Vol. 46, pp. 335-343, Fevereiro 1996.

- [5] Skolnik, M., **Radar Handbook – 2nd.** McGraaw-Hill Book Company – New York., Cap. 39. 1990

CAPITULO 3

- [1] Artuzi, W. A., **Finite Element Time Domain Method Using Picewise Constant Basis Functions**. Proceedings of SBMO/IEEE MTTTS, IMOC 2003, Foz dolguaçu, Brazil, 2003, pp. 1029-1032.
- [2] Balanis, C. A., **Antenna Theory: Analysis and Design** – Harper and Row 2nd ed .- New York, 1997 – Cap. 2 e16.
- [3] Brown, J., Jull, E. V., **The Prediction of Aerial Patterns From Near-Field Measurements**, IEEE (London), Paper N. 3469E, pp. 635-644, Novembro 1961.
- [4] Chang, K., Schuss, J. **Computer Simulation od Radome Effects for The Doppler Weather Radar Antenna System**. Raytheon Company, Equipment Division. IEEE Trans Antennas and Propagat., 1542 -1545. 1989
- [5] Hemming, L. H., Heaton, R. A., **Antenna Gain Calibration on a Ground Reflection Range**. IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol AP-21, N. 4, pp. 532-537, Julho 1973.
- [6] Hollis, J. S., Lyon, T. J., Clayton, L., **Microwave Antenna Measuments**. Scientific-Atlanta, Inc., Atlanta, Georgia, Julho 1970.
- [7] Johnson, R. C., Ecker, H. A., Hollis, J. S., **Determination of Far-Field Antenna Patterns from Near-Field Measurements**, Proc. IEEE, Vol. 61, N. 12, pp 1668-1694, Dezembro 1973.
- [8] Kim, J. J., Kesler, O. B., **Performance Analysis of Radar Antenna Systems**. Raytheon Systems Company – IEEE AES Systems Magazine, June 1999.

- [9] Knyazeva, A., Artishev, A.I. **The Mathematical Model Of Antenna And Antenna-Radome System.** Technique University, Moscou, Russia. IEEE 7803-7881. 2003. - International Conference on Antenna Theory And Techniques, 9-12 Setembro, 2003 – Sevastopol, Ukraine.
- [10] Kummer, W. H. (chair). **Measurement of the Electrical Properties of Radomes.** Capítulo 14 em **IEEE Standard Test Procedures for Antennas:** IEEE Std 149-1979. Estados Unidos da América: IEEE, 1979.
- [11] Manz, A., Handwerker, J., Hannesen, R., Mang, M.L., Gysi, H. **Radome Influence on Weather Radar Systems with Emphasis to Rain Effects.** International Conference on Radar Meteorology AMS Conference. Montreal, Canada, 12-16 Julho, 1999.
- [12] Moeller, A. W., The **Effect Reflections on Antenna Test Range Measurements.** Microwave Journal, Vol. 9, pp.47-54, Março 1966.
- [13] Newell, A. C., **Current State-of-Art in Near-Field Antenna Measurements.** Nearfield Systems Inc. and NIST Retired. IEEE 0-7803-7070-8/01 pp. 420-423 – 2001.
- [14] Richmond, J. H., **Simplified Calculation of Antenna Patterns, with Application to Radome Problems.** nAntenna Lab. Depto Elec. Engrg., Ohio State University, Columbus – 1955.
- [15] Shavit, R., **Scattering Effect Seams on Sandwich Radome Performance.** IEEE Trans. Antennas and Propagat.,Vol. 46, pp. 335-343, Fevereiro 1996.
- [16] Tricoles, G. P. **Radome Electromagnetic Design.** Cap. 31 em **Antenna Handbook: Theory, Applications, and Design – Part D: Related Topics.** Estados Unidos da América: Van Nostrand Reinhold Company, Inc., 1988.

- [17] Wells, T., Cohen, A. **Far Field measurement of Radome Scattered Fields**. Electronic Space Systems Corporation, USA. IEEE. Antenna and Propagat. no. 407, abril 1995.
- [18] Yan, B., Saoudy, S. A., Sinha, B. P. **Validation of Direct and Indirect Far-Field Antenna Measurements at Memorial University's Electromagnetic Facilities**. Memorial University of Newfoundland St. John's – Canadá, A1B 3X5 – IEEE 0-7803-3716 pp. 343-346 – 1997

CAPITULO 4

- [1] Brown, J., Jull, E. V., **The Prediction of Aerial Patterns From Near-Field Measurements**, IEEE (London), Paper N. 3469E, pp. 635-644, Novembro 1961.
- [2] Calheiros, R. V., Gomes, A. M. **Impact of Radial Range on Clear Air Radar Derived Divergence Profiles**. In: 29TH Conference on Radar Meteorology, 1999, Montreal. Proceedings. Boston: American Meteorological Society , 1999. p. 133-137.
- [3] Calheiros, R. V., Gomes, A. M.; Lima, M. A. ; Antonio, M. A. **Wind Profiling in Clear Air: A Radar-Radiosonde Comparison**. In: INternacional Seminar on Advanced Weather Radar Systems, 1998, Locarno. Cost 75 Advanced Weather Radar Systems. Luxemburgo: Office for Official Publications of The European Communities, 1999. p. 678-687.
- [4] Gomes, A. M.; Calheiros, R. V., Lima, M. A. ; Antonio, M. A. **Validação do Uso do Radar Meteorológico Doppler na Obtenção do Perfil Vertical do Vento**. In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1996, Campos do Jordão. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996. v. 1. p. 49-52.
- [5] Huddleston, G. K., Basset, H. L. **Radomes**. Capítulo 44 em **Antenna Engineering Handbook**, 3th ed.– Part 4: Estados Unidos da América: McGraw-Hill, Inc., 1993.

- [6] Manz, A., Handwerker, J., Hannesen, R., Mang, M.L., Gysi, H. **Radome Influence on Weather Radar Systems with Emphasis to Rain Effects.** International Conference on Radar Meteorology AMS Conference. Montreal, Canada, 12-16 Julho, 1999.
- [7] NEXRAD JSPO, 1986: **Next Generation Weather Radar – Product Description document.** NEXRAD Joint System Program Office, R400-PD-202
- [8] Rusch, W.V.T., Hansen, J.A., Klein, C.A., Mitra, R. **Forward scattering from square cylinders in the resonance region with application to aperture blockage.** IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 24, pp. 182-189, Março 1976.
- [9] Shavit, R., **Scattering Effect Seams on Sandwich Radome Performance.** IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 46, pp. 335-343, Fevereiro 1996.
- [10] Whiton, R.C., Smith, P. L. and Harbuck, A.C., **Calibration of weather radar systems using the sun as a radio source.** Preprint 17th Conf. Radar Meteorological., AMS, 60-67 – 1976.
- [11] Atlas, D., **Advances in radar meteorology.** Advanced. in Geophys. Vol.10, pp. 317-478. - 1964.
- [12] Doviak, R. J.,(1992). **Doppler Radar and Weather Observations.** Dusan S. Zrnica. -2nd ed. 562pp.
- [13] Reinehart, R. E.,(1991). **Radar for Meteorologists Part III.** University of North Dakota Press, 329 pp.

ANEXO I

ANEXO II

ANEXO III

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)