

## Deformação de Diagrama / Ecos

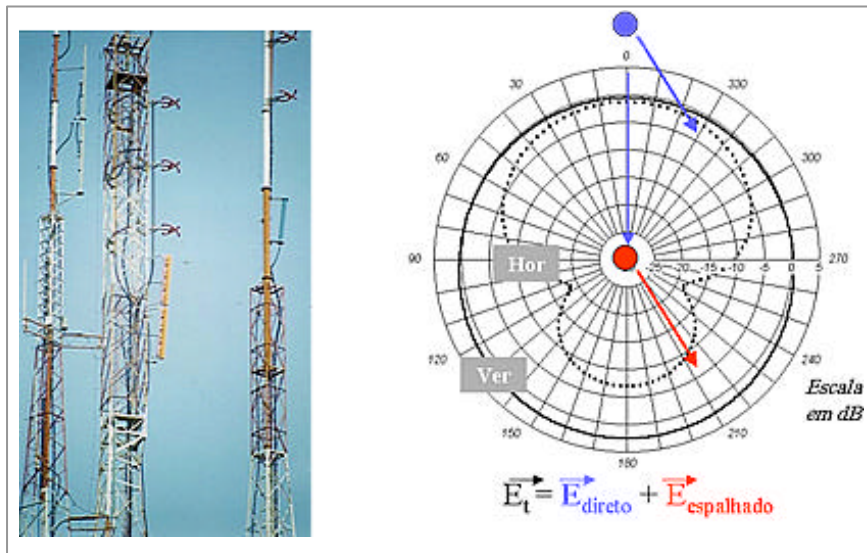


Figura 71 – Deformação de Diagrama

No capítulo 5 anterior verificou-se a possibilidade de montagem da antena na sua estrutura de sustentação desde uma situação controlada e ótima sob o ponto de vista da antena (montagem de topo) até uma situação não controlada e não ótima (montagem topo + lateral ou candelabro) para a antena. Para cada situação de montagem as propriedades de radiação da antena se alteram sendo a deformação dos diagramas de radiação o fator de maior impacto na qualidade de cobertura do sistema de transmissão e, portanto, a incógnita que sempre deve-se buscar estimar ou minimizar nas instalações de antenas.

A Fig. 71 mostra a foto de um sítio de torres com vários tipos de antenas de Radiodifusão de FM e de TV montados em situações das

mais variadas formas, cada antena deste sítio de torres apresenta o seu diagrama de radiação deformado pela presença da própria torre ou tubo que a sustenta, presença de outras antenas nas suas proximidades e presença de outras torres na proximidade da torre em que está instalada; com certeza os diagramas de azimute (horizontal) e de elevação (vertical) de cada uma destas antenas não corresponde aos diagramas de catálogo e conseqüentemente discrepâncias entre o projeto técnico de cobertura e a operação destes sistemas “como instalados” devem existir.

O diagrama polar à direita da Fig. 71 apresenta os efeitos de espalhamento eletromagnético provocados por uma estrutura cilíndrica (tubo condutor vertical de diâmetro  $0,2 \lambda$  neste exemplo) iluminada por uma frente de onda plana (sem flutuações espaciais de intensidade) em polarização horizontal e em polarização vertical, onde o campo distante resultante corresponde, para cada componente de polarização, à soma vetorial do campo direto emitido pelo gerador com o campo espalhado pelo cilindro (por soma vetorial deve-se entender a soma das componentes de campo levando-se em conta as informações de amplitude e de fase de cada componente).

Verifica-se que o campo distante resultante ao invés de ser perfeitamente omnidirecional (situação esperada para o caso aonde não existisse obstrução ou estrutura interferente) assume as formas apresentadas no diagrama polar e que são distintas para cada componente de polarização. Verifica-se também que a deformação provocada por este cilindro vertical em campos incidentes polarizados verticalmente apresenta maior magnitude do que a deformação provocada sobre campos incidentes polarizados horizontalmente.

Este comportamento já determina alguns critérios que devem ser observados para a instalação de antenas, por exemplo antenas de TV operando em polarização horizontal irão sofrer menos deformação de diagrama comparativamente a antenas de FM (que operam em polarização elíptica) montadas lado a lado em instalações tipo candelabro. Pode-se concluir também que, para o caso de antenas de FM, não apenas os diagramas sofrem deformação, a relação axial (que mede a proporção entre as componentes de polarização horizontal e vertical – vide Fig. 18 anterior) é deteriorada.

O campo eletromagnético espalhado irá somar ou subtrair com o campo direto da antena para cada radial considerada, dando origem à deformação do diagrama de radiação de espaço livre da antena, o “formato” e magnitude desta distorção irá depender basicamente da área da estrutura interferente, da sua geometria, do seu espaçamento com relação à antena em análise e da frequência de operação.

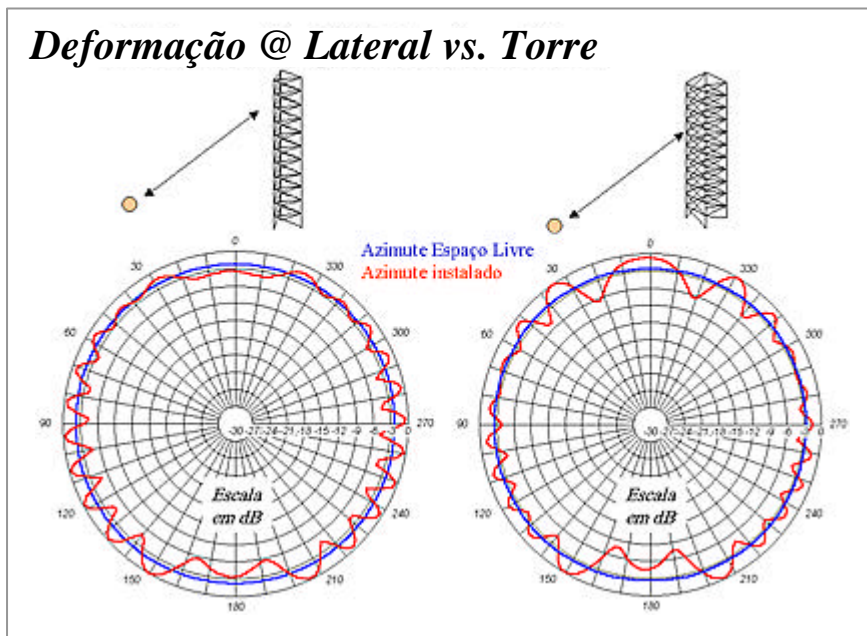


Figura 72 – Deformação @ Lateral vs. Torre

A Fig. 72 ilustra a influência da montagem lateral sobre um diagrama omnidirecional em função do tipo de torre e da disposição relativa entre a antena e a torre (ensaio em polarização horizontal).

Em azul e com amplitude constante tem-se o diagrama de espaço livre de azimute de uma antena omnidirecional, em vermelho o diagrama resultante da instalação desta antena afastada de 5 comprimentos de onda da lateral de uma torre com seção de 1 comprimento de onda, sendo o diagrama à esquerda resultante de uma torre de seção triangular e o diagrama à direita resultante de uma torre de seção quadrada.

O espalhamento eletromagnético nos membros

estruturais da torre geram reflexões em fase e em contra-fase relativamente ao campo da antena, fazendo com que ocorram flutuações na intensidade de campo distante da ordem de até 6 dB neste exemplo.

Para uma dada situação de instalação pode-se afirmar que a deformação dos diagramas de radiação será menor em frequências mais baixas ou na presença de estruturas interferentes eletricamente menores para uma dada frequência.

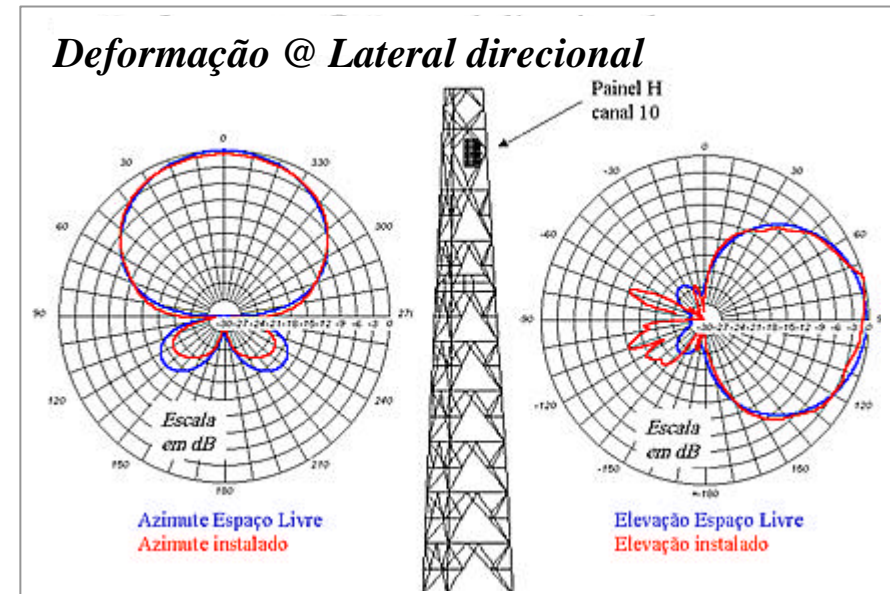


Figura 73 – Deformação @ Lateral direcional

O caso exemplo apresentado na Fig. 73 considera uma antena de TV tipo painel H de canal 10 montada à frente da seção reta de uma torre auto-portante de dimensão proporcionalmente maior do que a dimensão do refletor da antena painel.

À esquerda tem-se o diagrama polar de azimute e à direita o diagrama polar de elevação onde estão sobrepostos os diagramas de espaço livre e os diagramas da antena resultantes desta situação de instalação.

Neste exemplo a projeção lateral da seção reta da torre atua eletricamente como um refletor complementar para a antena

painel H, melhorando ligeiramente a relação frente-costa (no plano horizontal) pôr meio da redução da amplitude dos lóbulos traseiros.

Já a projeção vertical em forma piramidal da estrutura da torre perturba o lóbulo principal do diagrama de elevação da antena abaixo da linha do horizonte (ângulo theta maior do que 90 graus – vide Fig. 4 anterior) além de deteriorar sensivelmente a relação frente costa (no plano vertical).

É evidente que o tipo de deformação dos diagramas provocado pela iteração antena-torre como apresentado neste exemplo para e nos das próximas figuras não podem ser generalizados, o fenômeno de espalhamento eletromagnético é de natureza complexa e deve ser tratado caso a caso mediante um estudo específico de deformação de diagrama.

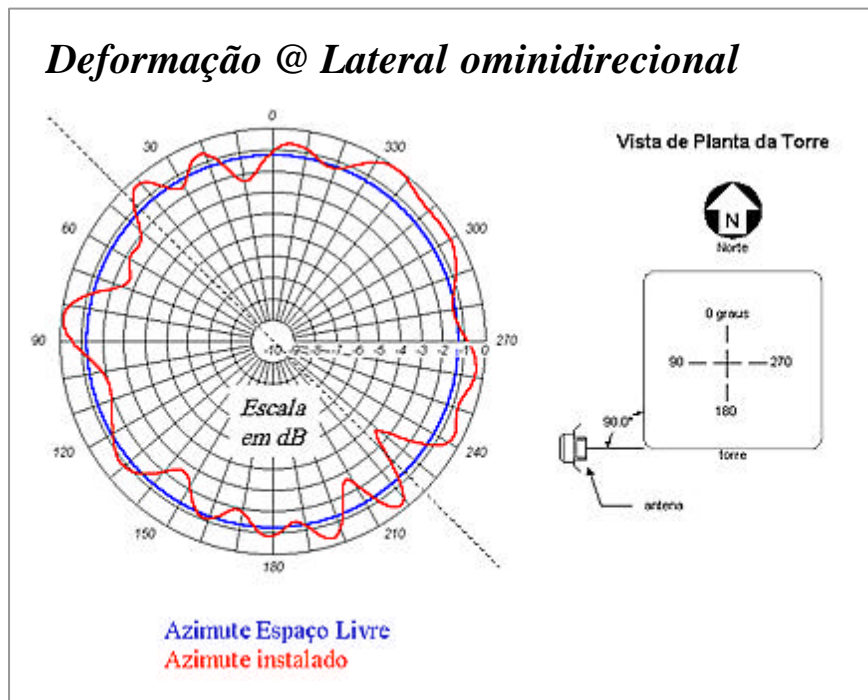


Figura 74 – Deformação @ Lateral omnidirecional

Muitas situações práticas determinam que a instalação de

sistemas omnidirecionais de TV operando na faixa de UHF sejam feitas ao redor de torres de seção transversal que apresentam dimensões elétricas equivalentes à vários comprimentos de onda, o que já sabemos ser uma situação ruim e não recomendada.

Para antenas tipo painel de UHF, quer seja o painel do tipo DMO (meia onda), DOC (onda completa) ou painel de UHF faixa larga (vide Fig. 26 anterior), o arranjo resultante desta situação de instalação já foi estudado e corresponde àquela mostrada anteriormente na Fig. 52 onde, para uma seção transversal de torre da ordem de  $2\lambda$  (correspondendo a  $\rho=1\lambda$  na Fig. 52 anterior), pode-se ter penetração do diagrama de azimute da ordem de até 6 dB!

A Fig. 74 apresenta uma situação de instalação onde, ao invés de um arranjo tipo painel de dipolos, foi otimizado a separação e disposição relativa antena-torre para o caso de uma antena tipo slot omnidirecional, de maneira a minimizar o “ripple” ou oscilação do diagrama “instalado” dentro da área de cobertura especificada (neste exemplo a torre apresenta seção quadrada de lado  $1,75 \lambda$ ).

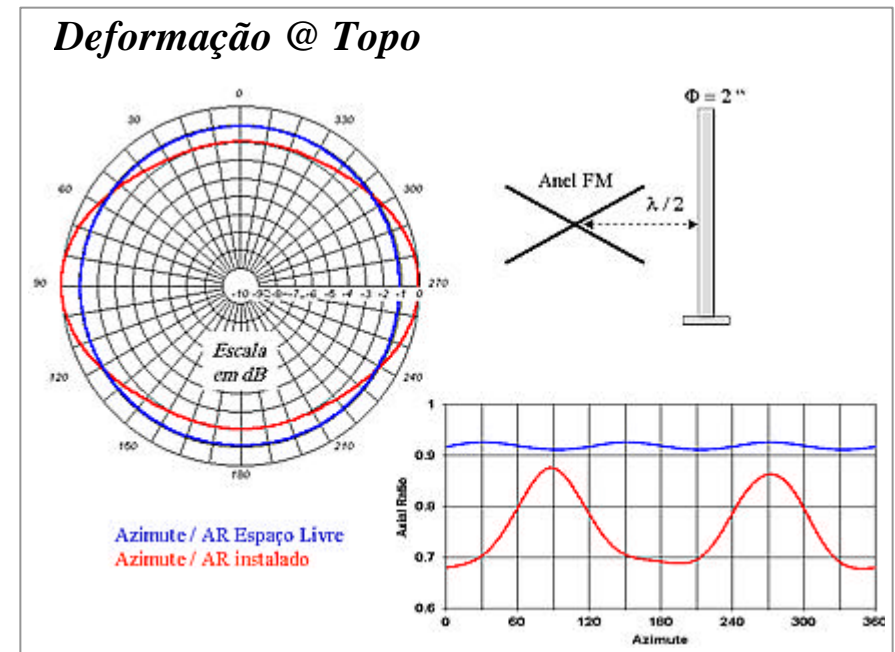


Figura 75 – Deformação @ Topo

A instalação de antenas no topo de torres ou estruturas de sustentação representa a situação mais apropriada para operação da antena quanto à minimização das deformações de diagrama.

Antenas autoportantes como do tipo Superturnstile (vide Fig. 35 anterior) ou Slot (vide Fig. 38 anterior) utilizadas em TV não sofrem portanto deformação de diagrama na condição de montagem de topo; já para antenas de FM projetadas na lateral de um tubulão de sustentação montado no topo de torres a situação não é a mesma pois neste caso o tubulão interfere nos diagramas de radiação nativos do elemento de FM.

A Fig. 75 ilustra este caso onde o diagrama polar apresenta a sobreposição dos diagramas de radiação de espaço livre e do diagrama resultante do afastamento do elemento de FM em  $\frac{1}{2}$  comprimento de onda de um tubulão de 2" de diâmetro.

Verifica-se que o diagrama "instalado" do elemento de FM sofre variação de  $\pm 1$  dB com relação ao diagrama de espaço livre, sendo que neste caso os diagramas apresentados correspondem à soma das componentes do campo elétrico em polarização horizontal com as componentes do campo elétrico em polarização vertical.

A influência do tubulão de 2" é mais acentuada sobre a componente de campo elétrico de polarização vertical (vide Fig. 71 anterior) do que sobre a componente de campo elétrico de polarização horizontal, este efeito é apresentado no diagrama retangular na extremidade inferior direita da Fig. 75 onde estão sobrepostos a variação da Relação Axial (vide Fig. 18 anterior) vs. Azimute para as condições da antena em espaço livre e antena considerando o tubulão de 2".

Na Fig. 76 o caso exemplo apresentado considera a influência de uma torre próxima a uma antena de FM tipo Seta (vide Fig. 41 anterior) com quatro níveis de empilhamento vertical.

A ilustração está em escala e em perspectiva mas dá uma boa idéia da obstrução provocada pela torre sobre a antena de FM, a torre é piramidal e a seção de sua base tem aproximadamente 6 metros, a distância entre a antena de FM e a torre é de aproximadamente 25 metros e a antena de FM encontra-se obstruída ao longo de toda a sua altura pela torre.

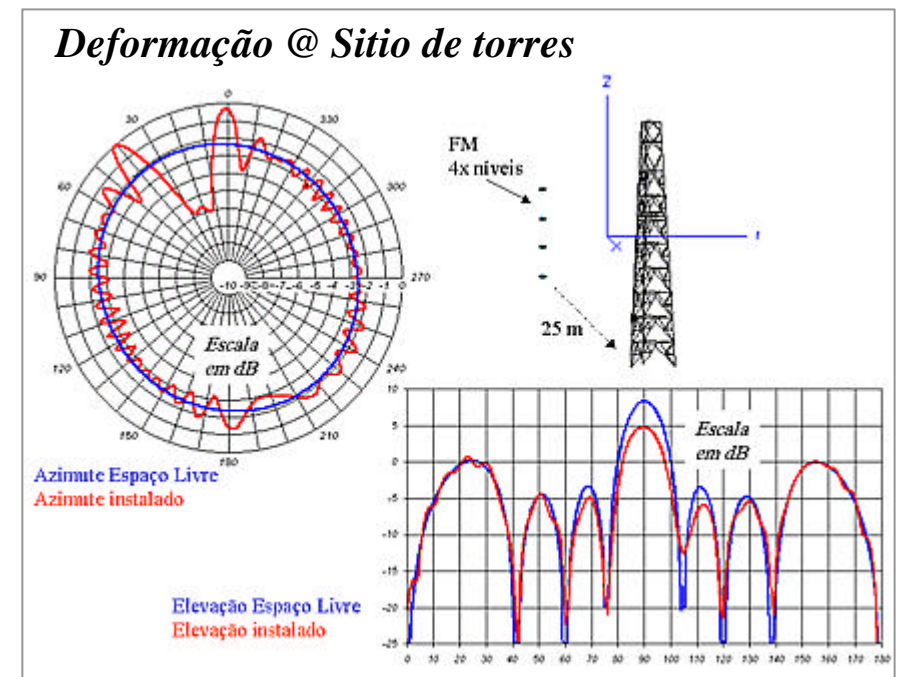


Figura 76 – Deformação @ Sítio de Torres

O diagrama polar mostra a sobreposição dos diagramas de azimute da antena de FM na situação de espaço livre (sem obstrução) e na situação em análise. Verifica-se uma maior penetração no diagrama de azimute na radial 20 graus com redução da potência ERP da ordem de 4 dB (o que pode comprometer este setor de cobertura), bem como ocorre um aumento da potência ERP da ordem de 2 dB nas radiais 0 e 40 graus (o que pode provocar interferência em outra estação nestas direções).

O diagrama retangular apresenta a sobreposição dos diagramas de elevação da antena de FM na situação de espaço livre (sem obstrução) e na situação em análise tomados na radial 20 graus. Verifica-se a já esperada redução de campo da ordem de 4dB na linha do horizonte ( $\theta=90$  graus), com redução das amplitudes dos lóbulos secundários. A surpresa fica por conta do aumento da intensidade de campo no primeiro nulo do diagrama de elevação, o que também poderia ter sofrido um efeito na direção oposta (isto é, redução da intensidade de campo).

Os campos elétricos associados aos diagramas apresentados referem-se à soma das polarizações horizontal e vertical, certamente a Relação Axial vs. radial será deteriorada em maior ou menor grau pela influência da obstrução sobre o espalhamento em cada componente de polarização.

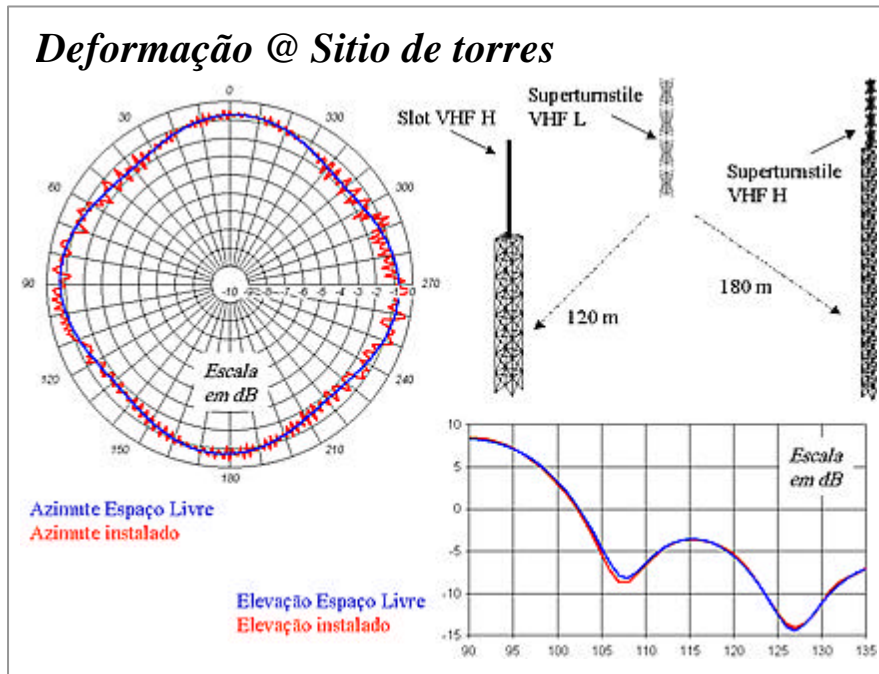


Figura 77 – Deformação @ Sítio de torres

A situação oposta a figura anterior é o caso exemplo da Fig. 77, a influência de torres com espaçamento acentuado sobre o diagrama de radiação de antenas. O diagrama polar apresenta a sobreposição dos diagramas de azimute de uma antena Superturnstile operando em canal 4 na condição de espaço livre e o diagrama resultante da influência de duas torres espaçadas de 120 e de 180 metros respectivamente na disposição relativa ilustrada.

Verifica-se que a deformação do diagrama de azimute é da ordem de 1 dB pico a pico, sendo o ‘ripple’ ou oscilação do campo distante de frequência bastante acentuada comparativamente ao ‘ripple’ ou oscilação como aquela observada para obstruções próximas da antena e ilustradas no caso exemplo da Fig. 76 anterior.

O diagrama de elevação está apresentado em formato retangular e praticamente não se percebe alteração entre os diagramas de espaço livre e o diagrama “instalado”. Como já esperado intuitivamente, esta situação de instalação não apresenta nenhum tipo de comprometimento em termos de deformação de diagrama.

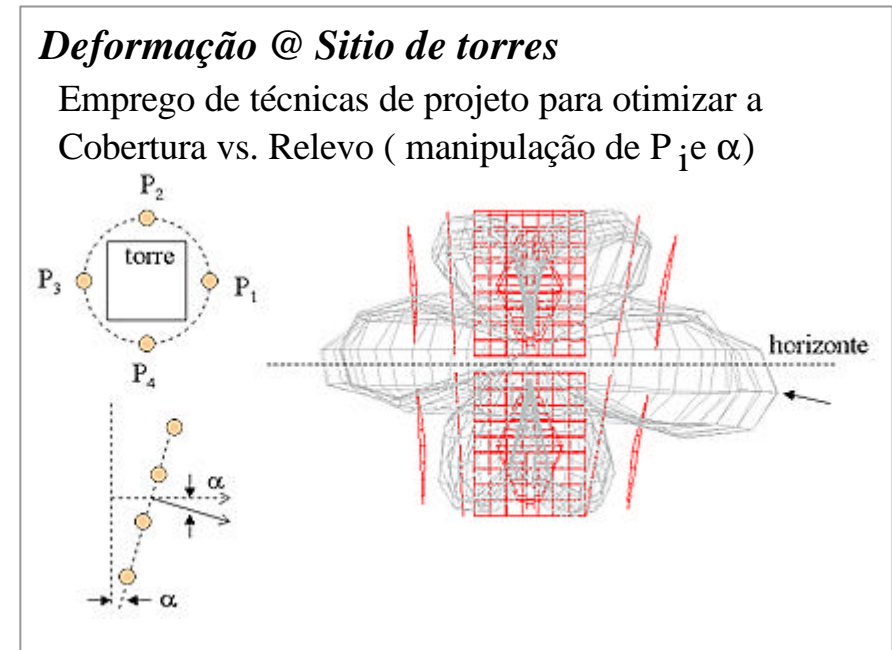


Figura 78 – Deformação @ Projeto

Situações como aquelas ilustradas nos casos exemplo das figuras anteriores são indesejáveis em qualquer instalação de um sistema radiante onde se deseje copiar ou reproduzir o diagrama de espaço livre.

Entretanto existem situações muito frequentes onde se deseja provocar determinado tipo de deformação ou desenho de diagrama de forma que o projeto de viabilidade técnica possa atingir as especificações desejadas combinando-se as características da topografia da área de cobertura com uma deformação intencional do diagrama de espaço livre.

A Fig. 78 apresenta um caso exemplo desta situação para um arranjo horizontal omnidirecional de antenas tipo painel H para TV (vide Fig. 33 anterior) de quatro faces onde foi utilizado ligeira assimetria de potência e assimetria de tilt mecânico pôr face, a fim de se otimizar a cobertura local mantendo-se a potência ERP dentro da outorga na linha do horizonte.

O diagrama 3D sobreposto ao desenho da geometria do arranjo mostra a linha do horizonte e para a face à esquerda a reduzida inclinação mecânica e intensidade de campo comparativamente a face da direita. O ponto do diagrama indicado pela seta e que corresponde à elevação e azimute desejada é o ponto do espaço onde o ganho máximo da antena ocorre e portanto tem-se a ERP máxima do sistema.

A deformação dos diagramas de radiação da antena na sua condição “como instalada” é uma conseqüência da natureza complexa da composição vetorial de campos eletromagnéticos diretos e de campos espalhados pelas estruturas próximas da antena, que devemos sempre procurar minimizar sob pena de se comprometer a qualidade do serviço, qualidade esta representada pelo sinal de vídeo demodulado no caso do serviço de TV e pelo sinal de áudio demodulado para FM .

Sob o ponto de vista do sinal de vídeo demodulado em TV, a deterioração da qualidade do serviço provocada pelos ecos (ou popularmente chamados de “fantasmas”) a que nos referimos ocorrem para os ecos de longa duração, normalmente acima de 1µs, que provocam perturbação subjetiva mesmo com pequenas amplitudes, via de regra acima de 2%. Ecos com menor atraso e com até maior amplitude não incomodam tanto subjetivamente.

A Fig. 79 ilustra em seu canto inferior esquerdo os dois principais mecanismos de surgimento dos ecos em sistemas de transmissão, os quais podem ser provocados pôr:

- 1 – Descasamento de impedância na entrada da antena de transmissão, onde o sinal refletido pela antena percorre de volta a linha de transmissão até o TX e retorna até a antena sendo re-radiado;
- 2 – Espalhamento em estruturas interferentes nas proximidades da antena bem como em outras antenas que operem na mesma faixa, as quais podem absorver e re-radiar o sinal gerando eco adicional àquele provocado primariamente pelo espalhamento eletromagnético.

Em sistemas analógicos de 525 linhas o tempo associado ao eco visível pode ser estimado com base na observação do monitor e aplicação da relação matemática no canto inferior direito da Fig. 79.

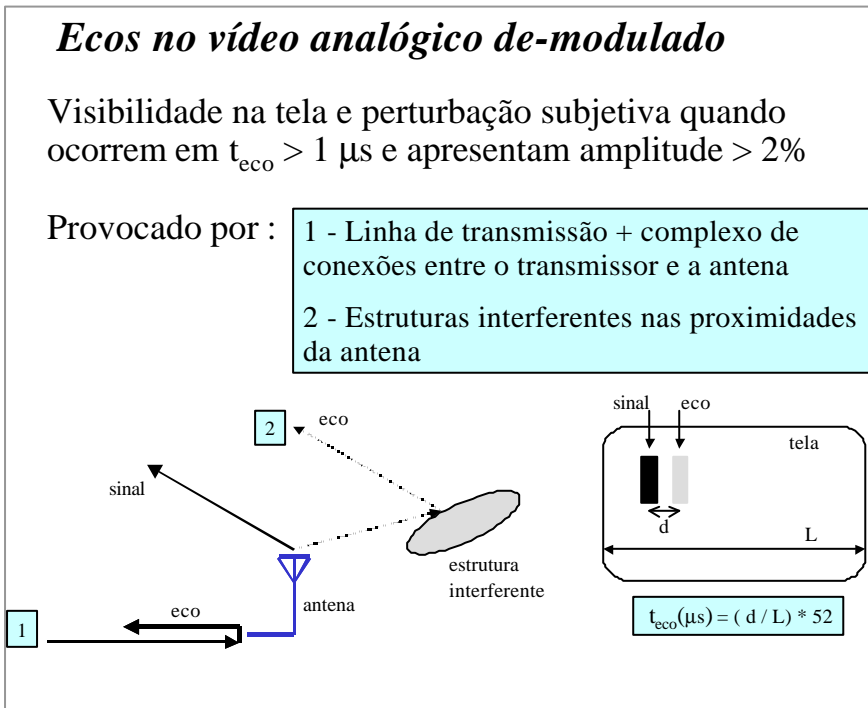


Figura 79 – Ecos no Vídeo analógico de - modulado

### Ecoss no vídeo analógico de-modulado

Perda de Retorno deve ser minimizada na região da portadora de vídeo

Ecoss de longa duração são determinados pela Antena de Transmissão

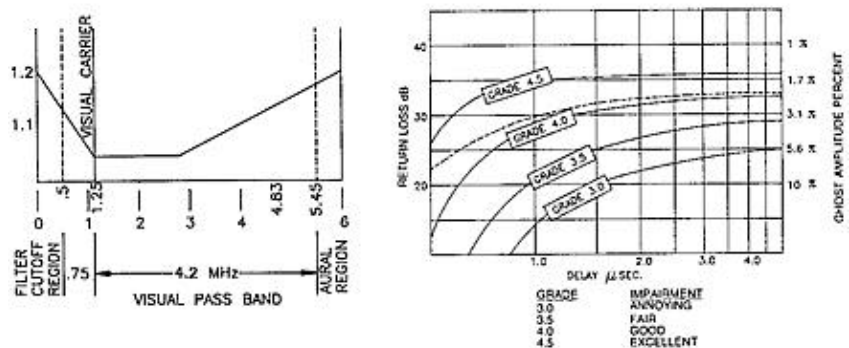


Figura 80 – Ecoss no vídeo analógico de- modulado

À esquerda da Fig. 80 tem-se a máscara do nível de estacionária aceitável para um sistema de transmissão de TV analógico a fim de se minimizarem as perturbações subjetivas provocadas pela ocorrência de ecoss no vídeo demodulado. No eixo das ordenadas tem-se o nível de VSWR e no eixo das abscissas a freqüência do sinal de vídeo composto.

Embora a faixa de freqüência ocupado pelo canal de TV analógico seja de 6 Mhz, a densidade espectral de potência do sinal de TV (potência pôr unidade de freqüência) não é uniforme e apresenta uma maior concentração de energia ao redor das portadoras de vídeo, de cor e de áudio sendo a maior parte da potência distribuída ao redor da portadora de vídeo, explicando assim o requisito de menor estacionária ao redor desta portadora com aceitação de maiores níveis de estacionária à medida que se caminha para os extremos do canal de TV.

O gráfico à direita da Fig. 80 mostra a associação entre a perda de retorno de um sistema de transmissão (VSWR transformada em dB onde menores valores de VSWR conduzem a maiores valores da

perda de retorno e vice versa) representada por valores no eixo das ordenadas com o tempo de atraso associado ao eco representado por valores no eixo das abscissas, parametrizados por curvas associadas ao nível de perturbação subjetiva experimentada pelo observador.

Com relação às curvas de perturbação subjetiva deve ser esclarecido que as mesmas obedecem a uma escala de 5 pontos, onde o grau 5 estaria associado àquela imagem de qualidade excelente (degradação imperceptível) e o grau 1 estaria associado àquela imagem de qualidade ruim (degradação muito perturbadora), no gráfico apresentado as curvas de perturbação subjetiva foram restringidas ao intervalo de grau 3 a 4,5 representando assim uma qualidade de imagem desde aceitável (grau 3) até excelente (grau 5).

Analisando-se este gráfico verifica-se que ecoss de longa duração (neste texto convencionados como ecoss com atrasos acima de 1 μs) irão causar perturbação subjetiva maior a medida que apresentarem maior amplitude, por exemplo um eco de 1,5 μs com amplitude 10% perturba subjetivamente (grau 3) muito mais do que o mesmo eco com amplitude de 3% (grau 4). Ainda neste exemplo, este eco de 1,5 μs poderia muito bem ser resultante do descasamento de uma antena separada de 200 mt do transmissor que operando com perda de retorno de 20 dB provocaria perturbação subjetiva de grau 3 e na condição de operação com perda de retorno de 30 dB provocaria perturbação subjetiva de grau 4.

Do parágrafo anterior conclui-se portanto que o casamento de impedância entre a antena e a linha de transmissão, além de estar intimamente relacionado com a eficiência da cadeia de transmissão (vide Fig. 14 anterior), é um fator também determinante da qualidade de imagem resultante em sistemas de transmissão de FM e TV.

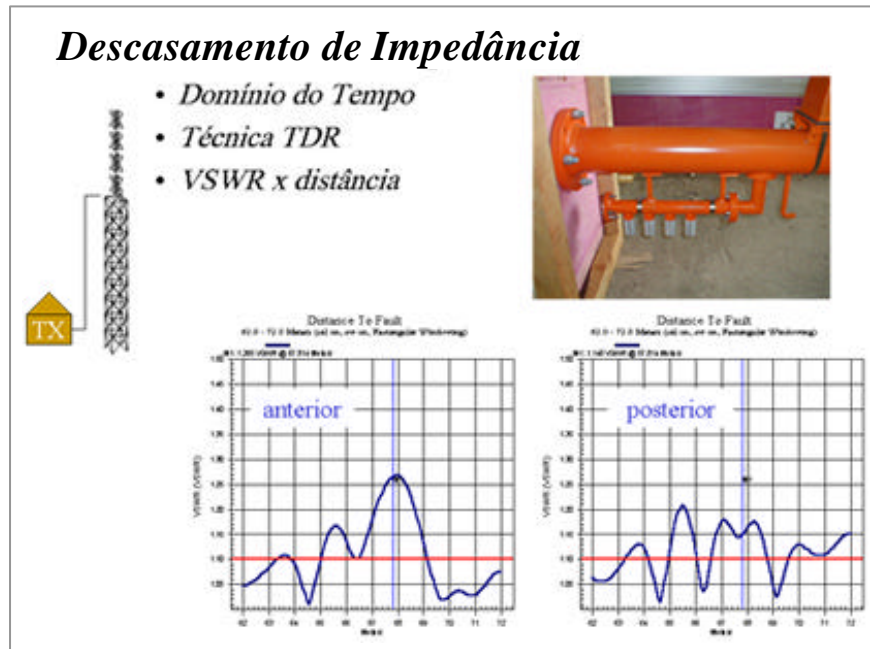


Figura 81 – Descasamento de Impedância – domínio do tempo

Sistemas de antenas profissionais para aplicação em transmissão de FM e TV operando em níveis de potência elevados onde as amplitudes de eco gerados por re-radiação da antena de transmissão podem deteriorar a qualidade do sinal de vídeo ou do áudio demodulado, necessitam de recursos para otimização do casamento de impedância da antena com a linha de transmissão após a mesma encontrar-se instalada.

Os dispositivos empregados para a otimização do casamento de impedância do conjunto antena + torre + cabo são chamados de dispositivos sintonizadores ou também de dispositivos reativos, pois atuam de maneira a minimizar os níveis de estacionária dentro do canal ou faixa de operação do sistema resultantes da antena como instalada.

A foto superior a direita da Fig. 81 mostra este dispositivo para o caso específico de uma antena slot de UHF, onde pode-se identificar o tubo de sustentação da antena e logo abaixo a ele preso o dispositivo

sintonizador composto por uma seção de linha rígida com quatro elementos de ajuste de sintonia. A resultante da ação de um dispositivo deste tipo está apresentada nos dois gráficos abaixo da foto onde tem-se respectivamente a situação de VSWR anterior e posterior ao ajuste.

Neste ponto cabe uma breve discussão acerca das técnicas normalmente empregadas para a aferição do nível de descasamento de impedância de uma antena posterior a sua instalação, onde o acesso direto à entrada da mesma não se faz mais possível em função da presença da linha de transmissão entre o instrumento de medição e a própria antena.

Para “driblar” esta situação recorre-se ao método de medição do descasamento de impedância da antena no domínio do tempo empregando-se a técnica TDR (Time Domain Reflectometry). Neste método o equipamento de teste é conectado na entrada da linha de transmissão onde emite um pulso que é refletido pelo sistema em teste (antena) e posteriormente analisado permitindo desta forma traçar um gráfico associando o nível de estacionária ou VSWR versus distância ao longo da linha de transmissão. Os gráficos da Fig. 81 foram tomados do instrumento em uma situação prática de ajuste de sintonia de uma antena no campo.

O outro método de medição do descasamento de impedância da antena é o tradicionalmente conhecido no domínio da frequência empregando-se a técnica de varredura (Sweep). Neste método o equipamento de teste é conectado na entrada da linha de transmissão e gera uma varredura em frequência na faixa de operação do sistema, permitindo desta forma traçar um gráfico associando o nível de estacionária ou Perda de Retorno versus frequência como aqueles mostrados pelos gráficos da Fig. 82 que ilustram uma situação prática de ajuste de sintonia da antena no campo.

À esquerda da Fig. 82 tem-se a ilustração de um sistema de antena slot de 8 fendas composto por dois conjuntos de quatro fendas empilhados verticalmente e calibrados individualmente em fábrica, a incorporação do dispositivo de sintonia permite tornar a curva de Perda de Retorno do sistema plana dentro do canal de operação, como ilustrado pelo registro gráfico associado a este desenho.



• Descasamento de Impedância

- Domínio da Frequência
- Técnica Varredura
- VSWR x faixa

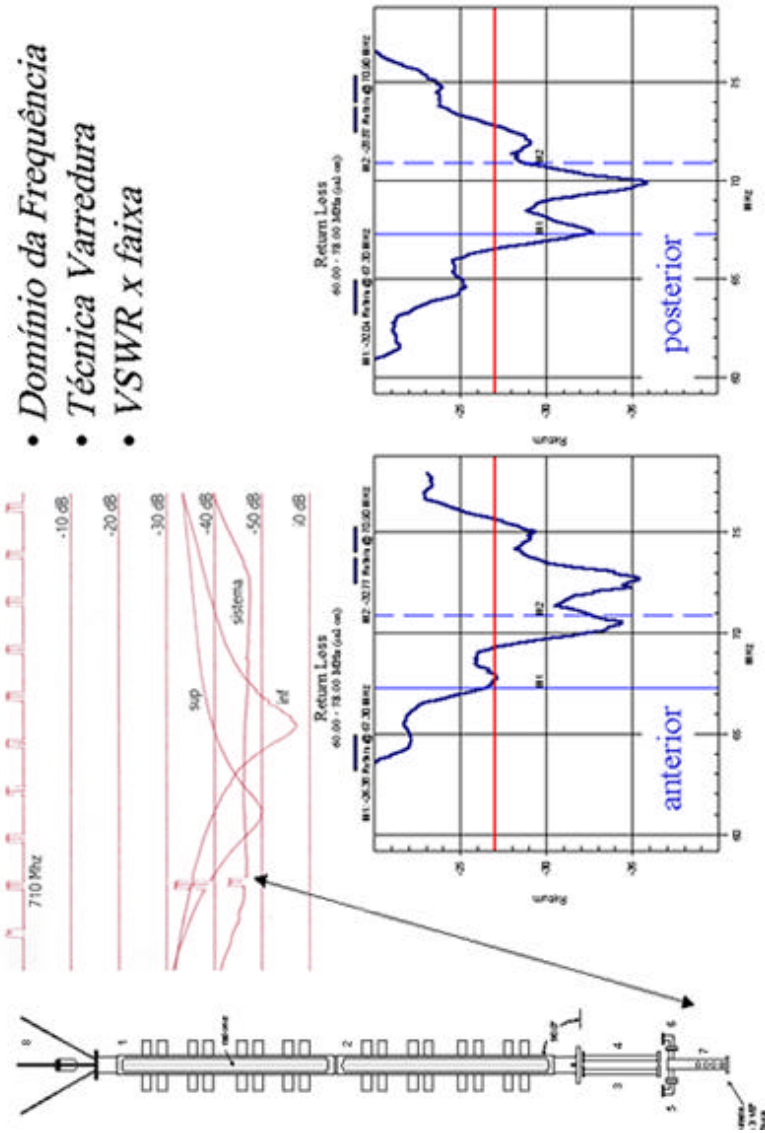


Figura 82 – Descasamento de Impedância – domínio da frequência