



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

CLÁUDIO PEREIRA DA COSTA

***Análise e Estudo de Sistemas Passivos em retransmissão de sinais:
estudo de caso e aplicação a um enlace operando em um canal de UHF.***

Campina Grande

2009

CLÁUDIO PEREIRA DA COSTA

**ANÁLISE E ESTUDO DE SISTEMAS PASSIVOS EM RETRANSMISSÃO DE
SINAIS: ESTUDO DE CASO E APLICAÇÃO A UM ENLACE OPERANDO EM
UM CANAL DE UHF.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande, como
requisito obrigatório para conclusão do curso de
Engenharia Elétrica.

Campo do Conhecimento:
Transmissão em UHF

ORIENTADOR: Prof. Mestre Rômulo R.
Maranhão do Valle

Campina Grande

2009

CLÁUDIO PEREIRA DA COSTA

**ANÁLISE E ESTUDO DE SISTEMAS PASSIVOS EM RETRANSMISSÃO DE
SINAIS: ESTUDO DE CASO E APLICAÇÃO A UM ENLACE OPERANDO EM
UM CANAL DE UHF.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Campina Grande,
como requisito obrigatório para conclusão do
curso de Engenharia Elétrica.

Campo do Conhecimento:
Transmissão em UHF

APROVADO EM: ____ / ____ / ____
BANCA EXAMINADORA

Prof. Mestre Rômulo R. Maranhão do Valle
(Presidente – Orientador)

Prof. Doutor Glauco Fontgalland
(2° Membro)

Dedicatória

Dedico ao meu Deus que mesmo sabendo que sou falho permitiu que eu chegasse até aqui. A Ele a glória!

E à minha família que sempre me apoiou: meu pai Sebastião, minha mãe Socorro e meus irmãos Robério (in memoriam) e Patrícia!

Muito obrigado!

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por contribuir de forma sempre marcante e gratificante na minha vida, possibilitando influenciar-me de maneira direta e gloriosa para mais sábia conquista.

Ao apoio imensurável da minha família e amigos que sempre acreditaram na realização desta conquista. A minha namorada Érika Carla, não apenas por seu amor, mas, por toda dedicação e apoio mesmo nos momentos difíceis, até mesmo de minha ausência para com ela.

Aos professores Glauco Fontgalland e Rômulo Valle pelas orientações e sugestões ao longo desta caminhada chamada graduação.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica por colaborarem direta e indiretamente na minha formação. Um destaque especial para três excepcionais pessoas: Adail, Juarez e Rosilda!

Em fim, a todos que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal.

Muito obrigado!

**“Deleita-te também no SENHOR,
e te concederá os desejos do teu coração.”**

Salmos 37:4

Resumo

Este trabalho tem como objetivo análise e um estudo dos principais elementos passivos aplicados à transmissão em RF e apresentar uma solução economicamente viável para prover o acesso dos moradores do Bairro do Conjunto dos Professores (região de sombra), em Campina Grande – PB, ao sinal de teledifusão da TV Itararé.

A fundamentação teórica é embasada nos conceitos e características técnicas relativas ao estudo do procedimento de implementação e instalação com ênfase na radiovisibilidade do sinal em RF para região de sombra. Também se fazem presentes os cálculos para a estimativa da perda de propagação no espaço livre para todo o trajeto do sinal desde sua emissão na TV até o elemento passivo a ser instalado a 5,6 km de distância.

Visando caracterizar o elemento passivo e sua localização, mediu-se a intensidade do sinal recebido em vários pontos do Conjunto dos Professores em três enlaces pré-determinados. Observou-se que o elemento que melhor se adequa ao caso em estudo é o refletor passivo. O ponto de maior intensidade é no bairro da Bela Vista com -35dBm para a portadora de vídeo, sugerido para ser o ponto onde se poderá instalar o repetidor passivo e reenviar o sinal para toda a região de sombra.

Com isto, foi possível fazer um dimensionamento do sistema passivo, resultando num valor de lado de área real de $7,39\text{m}$ e ainda sugerir possíveis ajustes mecânicos que resultem em um custo total mais baixo para sua implantação sem comprometer sua eficiência.

Palavras-chave: Perda de propagação, sistemas passivos, sistema RF.

Lista de figuras

Figura 1: Modelo típico de um sistema de enlace via rádio.	14
Figura 2: Curvas de nível de uma superfície terrestre.	17
Figura 3: Representação simplificada da radiovisibilidade e a presença de obstáculos no percurso do sinal.	18
Figura 4: Propagação no ar livre entre duas estações (Albuquerque, 2006).	18
Figura 5: Representação geral da radiovisibilidade e a presença de obstáculos no percurso do sinal.	21
Figura 6: Elipsóide de Fresnel.	23
Figura 7: Sistema com alimentação (a), sistema sem alimentação (b) (Esteves, 1980).	25
Figura 8: Refletor Passivo retangular com caracterização dos sinais incidente e refletido (Esteves, 1980).	26
Figura 9: Configurações típicas de sistemas passivos: (a) Periscópico, (b) Refletor Simples, (c) Refletor duplo e (d) antenas costa-a-costa.	27
Figura 10: Região dos campos de propagação de antenas (Saraiva, 2006).	29
Figura 11: Papel usado para fazer o levantamento de Perfil.	30
Figura 12: Ângulo horizontal do refletor passivo.	31
Figura 13: Ângulo entre a estação A e o refletor passivo.	32
Figura 14: Determinação da área projetada do refletor passivo (Norton, 1962).	33
Figura 15: Sistema de transmissão com bloqueio de uma obstrução.	34
Figura 16: Aplicação de um difrator para transpor o obstáculo (Esteves, 1980).	35
Figura 17: Difrator de bloqueio de N lâminas. (Fonte: TELEBRÁS, 1979).	36
Figura 18: Matriz linear de antenas. (FONTE: REVISTA TELEBRÁS, 1972).	37
Figura 19: Atenuação no espaço-livre para freqüência de 503MHz.	38
Figura 20: Representação do enlace em estudo de caso.	45
Figura 21: Ganhos e atenuações do enlace Itararé – Conjunto dos Professores.	46
	48

Lista de Tabelas

Tabela 1: Faixas de freqüências e suas denominações. Fonte: (Alencar, 2001).	16
Tabela 2: Enlace A entre a Bela Vista e o ponto central no Conjunto dos Professores.	42
Tabela 3: Enlace B entre a Bela Vista e a extremidade a esquerda do ponto central no Conjuntos dos Professores.	43
Tabela 4: Enlace C entre a Bela Vista e a extremidade a direita do ponto central no Conjuntos dos Professores.	44

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	SISTEMA DE TRANSMISSÃO VIA RÁDIO ENLACE	13
2.1	Conceito Geral	13
2.2	Antena	14
2.3	Faixa de Frequência	16
2.4	Perfil topográfico	17
2.5	Propagação	18
2.6	Mecanismos de propagação	20
2.7	Zonas de Fresnel	22
3	SISTEMAS PASSIVOS	24
3.1	Conceito	24
3.2	Refletores	25
3.3	Configurações	26
3.4	Campo Próximo e Campo Distante	28
3.5	Localização	30
3.6	Ganho do refletor	33
3.7	Difratores	35
3.8	Configurações	36
3.9	Campo Próximo e Campo Distante	37
3.10	Localização	39
3.11	Ganho do difrator	39
4	ESTUDO DE CASO	41
4.1	Critério de radiovisibilidade	41
4.2	Cálculo das perdas no espaço-livre	45
4.3	Escolha do elemento passivo	46
4.4	Cálculo da atenuação total líquida	47
4.5	Cálculo do nível de recepção nominal	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
7	REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
8	ANEXOS	55

1. Introdução

Com o desenvolvimento dos sistemas de telecomunicações ao longo dos anos, houve um aumento significativo da necessidade natural do homem em se manter bem informado.

Os sistemas de teledifusão, assim como os de radiodifusão, são os meios mais utilizados pela população, em todas as classes sociais para se manterem informadas dos acontecimentos de sua cidade, estado, país e do mundo como também ter acesso à qualificação profissional por meio da educação televisiva.

A larga utilização desse tipo serviço proporcionou uma grande difusão das estações de teledifusão e radiodifusão em todos os lugares do mundo bem como grandes desafios à engenharia em comunicações e em topografia.

Por razões diversas, as estações transmissoras de televisão nem sempre se encontram instaladas segundo o plano diretor da cidade. Esse fato torna complexo para estas transmissoras, a obtenção de uma cobertura da região ou cidade de forma homogênea permitindo a todos os usuários o acesso às informações.

As características de irregularidade geomorfológica da região e as novas edificações apontam para obstrução da transmissão do sinal. Isso leva a que essa região passa a ser classificada como região de sombra com relação às estações transmissoras de televisão local da cidade. Muitos dos usuários dessa área têm sistemas de recepção via satélite.

No entanto, eles não fornecem a programação local, importante para a sociedade e para a municipalidade, uma vez que são esses os meios utilizados para divulgação de ações sociais da prefeitura e do governo.

Para contornar o caso de não existir a possibilidade de se implementar a ligação direta entre as duas estações de rádio (devido à presença de obstruções no enlace), pode-se utilizar um sistema passivo (refletores e/ou difratores), que podem redirecionar os feixes de RF de maneira a tomarem outra direção de propagação.

A análise e estudo de um enlace com sistemas passivos exibem algumas questões que devam ser analisadas em detalhes. São elas: o ganho do repetidor, o local de instalação do sistema, a área do sistema passivo e o desempenho do enlace.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo fazer um estudo teórico dos sistemas passivos mais usados (refletores e difratores) em microondas. O trabalho culmina com um estudo de caso para um enlace na faixa de UHF

2. Sistema de transmissão via Rádio enlace

2.1 - Conceito geral

Em 18 de Janeiro de 1920 ocorreu a primeira transmissão de teledifusão no Brasil, a Estação de TV - CANAL 3 - TV TUPI - DIFUSORA em São Paulo. A partir dessa data a informação de televisão deixou de ser algo distante dos brasileiros e passando a ser necessária.

Desde então, a crescente evolução da tecnologia permitiu o avanço e desenvolvimento de várias áreas do conhecimento humano entre elas, a engenharia de telecomunicações.

Em telecomunicações pode-se afirmar, com grande disposição, que as comunicações sem fio representam, sem dúvida, importante inovação que vem ao longo dos anos sofrendo muitas alterações em busca da aglutinação de aplicações agregadas ao mesmo serviço.

Graças a ela, o mundo tornou-se mais conectado, o conhecimento se propagou mais rápido e as distâncias se encurtaram.

Nas telecomunicações existem dois meios principais de transmissão; os sistemas que usam o espaço livre para transmissão (*wireless*), e os sistemas que adotam meios físicos de transmissão (*wired*) como fibras óticas, cabos telefônicos, cabos coaxiais, entre outros, conforme (Miyoshi & Sanches, 2002).

O rádio enlace ou sistema rádio ponto-a-ponto é fundamentado no transporte a um ou mais pontos das informações provenientes de uma ou mais fontes a fim de garantir que o sinal gerado em sua origem chegue a seu destino inteligível, dentro de uma taxa de erros aceitável, levando-se em consideração os diversos fatores que serão apresentados neste trabalho.

Um sistema típico para enlace via rádio entre antenas ponto a ponto, a depender deve possuir uma radiovisibilidade entre as estações de até 50 km do relevo local e as faixas de frequência empregadas, o transporte de dados baseia-se nas propriedades de propagação da energia eletromagnética no ar.

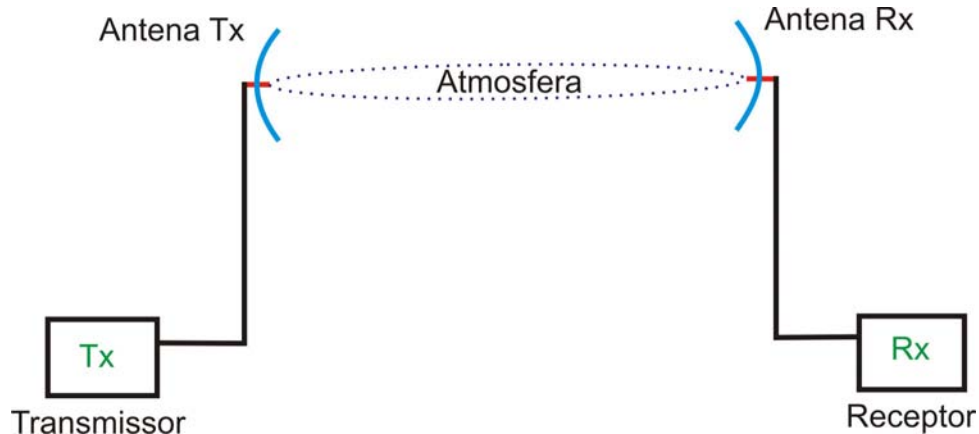


Figura 1: Modelo típico de um sistema de enlace via rádio.

A palavra radiovisibilidade deriva da situação espacial que deve oferecer condição de visibilidade direta, simultânea e contínua no tempo, entre duas antenas instaladas em torres (Tavares Junior, 2003).

Portanto, para que um rádio enlace funcione satisfatoriamente (Nascimento, 2000), são necessários os seguintes requisitos básicos:

- 1) A intensidade do sinal recebido deve ter potência suficiente para se sobrepôr ao sinal do ruído recebido,
- 2) A intensidade do sinal deve ser propagada sem distorção excessiva, ou seja, a onda deve ser transmitida em uma faixa de frequência com atenuação e velocidade de propagação constantes, para as frequências da faixa.
- 3) Para que o rádio enlace tenha confiabilidade, conforme o seu grau, as condições acima devem permanecer constantes na maior parte do tempo.

As aplicações com o sistema de rádio apresentam-se eficientes para prover o acesso a regiões distantes e de difícil acesso; ou quando se necessita estabelecer uma ligação de forma rápida e flexível que podem ou não serem feitas de maneira direta.

2.2 - Antena

Antena é um dispositivo cuja função é irradiar energia eletromagnética e/ou interceptar radiação eletromagnética (Temes, 1990). Uma antena não irradia de modo uniforme em todas as direções, mas concentra a energia direcionando-a, (Silva, 1977).

Do ponto de vista da eficiência, a antena ideal é aquela a qual irradia toda a potência liberada pelo transmissor em uma ou em diversas direções desejadas. A antena prática, pode não cumprir a performance do projeto, mas seu desempenho deve ser avaliado. Por tudo isto, foram definidos alguns parâmetros no estudo da teoria de antenas. Estes parâmetros revelam, portanto, características, algumas delas mensuráveis, outras fruto de deduções, todas associadas com o seu papel de irradiador de energia. Os principais são (Valle, 2000):

- Diagrama de irradiação;
- Diretividade;
- Ganho;
- Impedância;
- Resistência de Radiação;
- Área Efetiva;
- Nível de Lobo Secundário;
- Razão Frente-Costa;
- Largura do Feixe;
- Polarização;

Logo, o entendimento das antenas depende do conhecimento de princípios básicos de seu funcionamento, algumas noções sobre suas propriedades e suas implicações em termos de orientação e precisão angular referente ao espaço tridimensional.

Assim, para modelagem de um rádio enlace usando a Diretividade da antena é dada a equação (1), onde P_1 é a potência irradiada na direção do máximo do diagrama do dipolo, e P potência irradiada em qualquer direção por antena isotrópica (Silva, 1977).

$$D_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_1}{P} \right) \quad (1)$$

Para que ocorra a efetiva comunicação através de enlaces de rádio é necessária a utilização de equipamentos de transmissão ligados às antenas. Os mesmos têm a finalidade de realizar transformações das variações de corrente e tensão em ondas eletromagnéticas para se propagarem até outra antena receptora.

Na composição deste sistema estão: antenas, torres/postes, suportes de antenas, refletores, difratores, cabos coaxiais, guias de ondas, conectores e transmissores que possuem uma faixa de operação.

2.3 - Faixa de Freqüência

O espectro eletromagnético é a ordenação das radiações eletromagnéticas de acordo com os comprimentos de onda ou, em outras palavras, freqüência ou energia.

Apresenta-se dividido arbitrariamente em várias faixas de freqüências que são frações do espectro limitadas por duas freqüências limites, como ilustrado na Tabela 1:

Tabela 1: Faixas de freqüências e suas denominações.
Fonte: (Alencar, 2001).

Designação da faixa	Intervalo de freqüência
VLF	3KHz - 30KHz
LF	30KHz - 300KHz
MF	300KHz – 3000KHz
HF	3MHz – 30MHz
VHF	30MHz – 300MHz
UHF	300MHz – 3000MHz
SHF	3GHz – 30GHz
EHF	30GHz – 300GHz
-	300GHz – 3000GHz

As faixas de freqüências possuem designações próprias para facilitar a identificação em suas aplicações:

- Freqüência muito baixa (VLF);
- Freqüência baixa (LF);
- Freqüência média (MF);
- Freqüência alta (HF);
- Freqüência muito alta (VHF);
- Freqüência ultra alta (UHF);
- Freqüência super alta (SHF).

Essas faixas não foram apenas alocadas para fins de radiodifusão, mas também para: a navegação aérea, telemetria, comunicação móvel, radares e satélites artificiais.

Vale destacar que a escolha inadequada de uma faixa de frequências pode resultar em problemas variados no futuro, como interferências elevadas, dificuldades na expansão futura de modo que deve ser realizada de forma criteriosa, após análise tanto do sistema a ser projetado como dos enlaces e sistemas existentes na mesma região.

2.4 - Perfil topográfico

O perfil topográfico é um conjunto de curvas de nível que representam a altimetria, ou altitude do terreno. A confecção do gráfico de perfil dos enlaces é elaborada de forma a ter os gráficos de alturas no eixo das ordenadas e das distâncias no eixo das abscissas.

As condições geológicas e geotécnicas das áreas atravessadas pelas ondas eletromagnéticas vão ter grande influência nas perdas e na escolha do perfil. Nem sempre é possível reduzir a altura de um obstáculo como: um monte, um vale, prédios, vegetação, etc.

As extremidades da visada direta (livre de bloqueio do relevo), são pontos de interesse imediato ou futuro para instalar torres, nas quais são fixadas e orientadas antenas para rádio enlace (Tavares Junior, 2003).

A figura 2 ilustra um perfil típico de uma elevação do terreno retirado a partir de uma carta topográfica (mapa com curvas de nível), com certa equidistância entre elas.

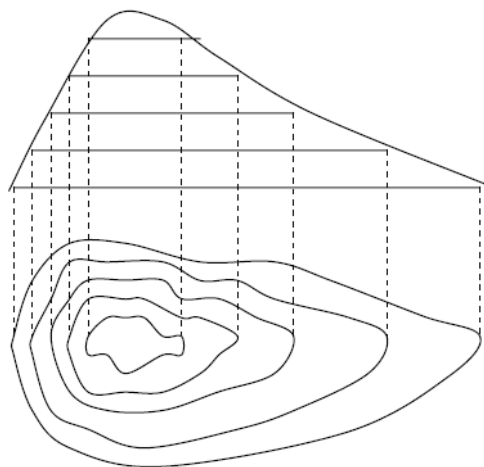


Figura 2: Curvas de nível de uma superfície terrestre.

São incluídas no gráfico de perfil do terreno, as torres para elevar as antenas acima de obstáculos em termos do próprio relevo, árvores e edificações em que suas dimensões estruturais possam oferecer obstrução total ou parcial ao sinal transmitido (Tavares Junior, 2003).

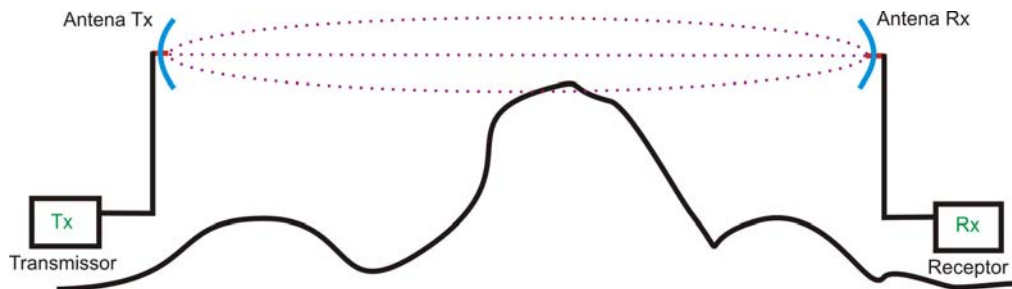


Figura 3: Representação simplificada da radiovisibilidade e a presença de obstáculos no percurso do sinal.

As torres das antenas devem ser elevadas acima de obstáculos em termos do próprio relevo, árvores e edificações de forma a não serem agentes causadores de interrupções nas transmissões de sinais.

2.5 - Propagação

A propagação de sinais EM ocorre de formas e meios variados dependentes da faixa de frequência utilizada e da distância do enlace. É do interesse deste trabalho fazer menção àquelas de relevância na faixa de UHF onde dentre outras, são utilizadas para estudos de teledifusão.



Figura 4 – Propagação no ar livre entre duas estações (Albuquerque, 2006).

Em um enlace de rádio o sinal é transmitido pela antena transmissora e propaga-se na forma de ondas de rádio (ondas eletromagnéticas) até a antena receptora (Albuquerque, 2006).

As condições de propagação para um sinal de UHF dependem dos fenômenos relacionados com os meios de transmissão. Esses meios são compostos por um conjunto de relevos de terrenos e as condições atmosféricas típicas que condicionam a não idealização do enlace.

Fatores da atmosfera tais como, temperatura, umidade e pressão apresentam-se como variáveis aleatórias em nosso planeta. Todas, funções da altitude, que provocam alterações nas propriedades eletromagnéticas.

A atmosfera pode ser dividida em diversas regiões sobrepostas (Perrault et al., 1996), a saber:

Troposfera – entre 0 e 15km – é onde ocorre a maior concentração do vapor d'água, e onde se formam as nuvens. Uma propriedade importante nessa faixa é que, na média, a temperatura diminui com a altura, e é transparente à radiação solar. Nesta camada o principal efeito na propagação das ondas de rádio é o da refração, que atua na trajetória das ondas com o aumento da velocidade de propagação, devido à elevação da altitude;

Tropopausa – entre 15 e 20km – nesta região a temperatura se mantém constante e depende do tipo de clima do local. Em regiões de clima tropical, ela pode apresentar espessura desprezível;

Estratosfera – entre 20 e 45km – aqui a temperatura aumenta com a altitude, devido à alta concentração de ozônio;

Estratopausa – entre 45 e 50km – a temperatura se mantém constante;

Mesosfera – entre 50 e 80km – nesta região novamente o fenômeno em que a temperatura decresce com a altitude a uma taxa de variação quase constante;

Mesopausa – entre 80 e 90km – a temperatura se mantém quase constante;

Ionosfera - acima de 90km – a temperatura aumenta com a altura, atingindo valores elevados, dependendo da hora do dia. A influência da irradiação solar ocorre de forma acentuada nesta região, e com isso acontece a dissociação das moléculas gasosas em íons positivos e elétrons livres, favorecendo a ionização desta camada – daí a denominação de ionosfera – a camada onde se encontra o melhor meio de condução de toda a atmosfera. Apresenta comportamento cíclico, a saber: diário,

anual e solar. No primeiro ocorre a maior ionização durante o dia e menor à noite; no segundo, a ionização é bem maior no verão do que no outono.

Logo, para realizar o estudo do mecanismo real de propagação, deve-se então considerar todas as influências possíveis que esse meio possa exercer como o relevo, vegetação, prédios, etc. (Albuquerque, 2006).

2.6 - Mecanismos de propagação

Quando ocorre uma transmissão UHF entre dois pontos a onda eletromagnética viaja no espaço real, a troposfera, se o enlace se encontra na crosta terrestre. Nessa propagação podem ocorrer cinco mecanismos de propagação tais como: reflexão (especular e difusa), difração, dispersão ou espalhamento, refração e desvanecimento. São eles:

Desvanecimento – Uma onda eletromagnética, ao atravessar o meio de propagação, sofre alterações de amplitude e de percurso. O desvanecimento representa alterações percebidas por atenuações, reforços e distorções no espectro do sinal (Tavares Junior, 2003).

Difração -- É a capacidade das ondas eletromagnéticas contornarem obstáculos, quando esses obstruem a visada entre o transmissor. Esse fenômeno se dá porque as ondas se propagam como se cada ponto da frente de onda gerasse uma nova onda. Como isso ao se deparar com um obstáculo, as fontes pontuais da frente de onda acima do obstáculo continuam irradiando, fazendo com que a região de sombra atrás do obstáculo também seja iluminada (Cavalcanti, 2005).

Espalhamento ou reflexão difusa – acontece quando existe uma superfície irregular na visada da onda eletromagnética que se propaga entre o transmissor e o receptor de um rádio enlace, cujas dimensões são comparáveis ao comprimento de onda deste sinal.

Reflexão – Esse fenômeno acontece quando as ondas eletromagnéticas colidem com uma superfície lisa e cujas dimensões são consideradas maiores que o comprimento da onda incidente. Um exemplo onde esse mecanismo acontece é a superfície terrestre.

Refração – ocorre quando as ondas eletromagnéticas não se propagam em linha reta, mas se inclinam em relação à normal, devido ao índice de refração inconstante encontrado na atmosfera (Felice, 2005).

Nota-se que, por todos os fenômenos apresentados formam-se componentes de campo que podem se propagar por diferentes mecanismos ou superfícies até chegar ao ponto de destino. O sinal que chega ao destino vai ser a composição de algumas ou todas estas componentes na antena receptora.

Logo, através da inserção desses mecanismos a representação de um sistema deixa de ser visto como apresentado anteriormente na Figura 3, para uma representação mais próxima da realidade através da Figura 5 abaixo:

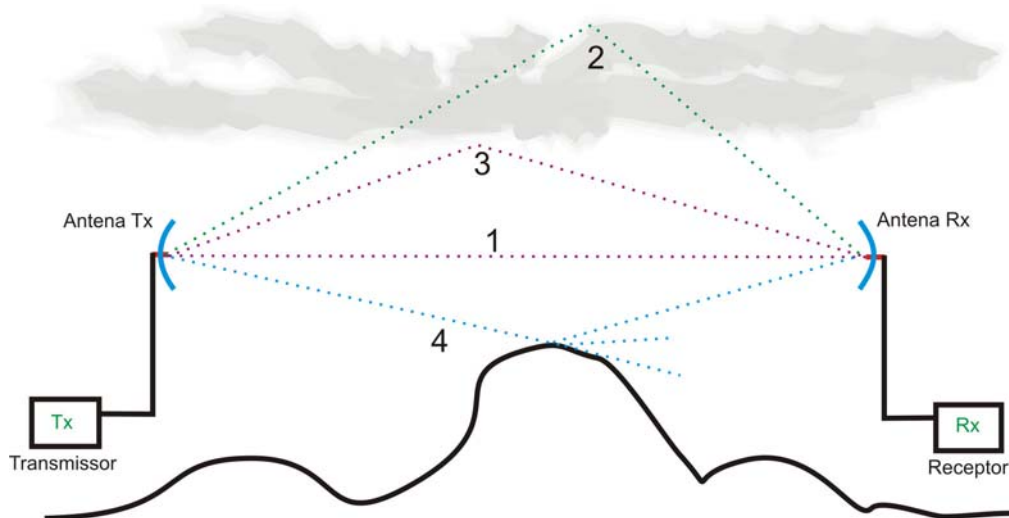


Figura 5: Representação geral da radiovisibilidade e a presença de obstáculos no percurso do sinal.

onde,

- 1: onda direta
- 2: onda celeste
- 3: refração troposférica
- 4: onda difratada e onda refletida para antena.

Portanto, em síntese, pode-se evidenciar que o sinal que alcança o receptor em um rádio enlace é uma composição de sinais, levando-se em conta o efeito das regiões troposféricas, ionosféricas e as terrestres ou de superfície, ocasionadas pelas ondas direta e a refletida.

Devido a esses mecanismos é importante ser possível prever o tamanho da área a ser coberta com qualidade de sinal aceitável para implementação do serviço de teledifusão em uma determinada região.

A situação mais simples vista na Figura 5 é a 1 – onda em visada direta – pois, possui um ambiente totalmente desobstruído e no espaço livre. Esse é um caso idealizado, mas pode ser útil para dar uma visão inicial dos mecanismos de propagação.

Percebe-se que a atenuação presente neste caso é baseado na geometria do sinal, uma vez que a energia irradiada tende a se espalhar por esferas cada vez maiores. De acordo com a recomendação ITU-R PN. 525-2 (ITU-R, 1994), a perda básica no espaço livre é calculada pela expressão:

$$L_{bf} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) \quad (2)$$

onde:

L_{bf} - perda básica no espaço livre (dB)

d – distância

λ - comprimento de onda, sendo que d e λ devem ser expressas nas na mesma unidade.

O cálculo pode ser feito também se utilizando a frequência no lugar do comprimento de onda:

$$L_{bf} = 32,44 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) \quad (3)$$

onde:

f – frequência [MHz] e

d – distância [Km]

2.7 - Zonas de Fresnel

As Zonas de Fresnel são os volumes do espaço contidos em uma série de elipses concêntricas em torno da linha de visada entre duas estações em transmissão.

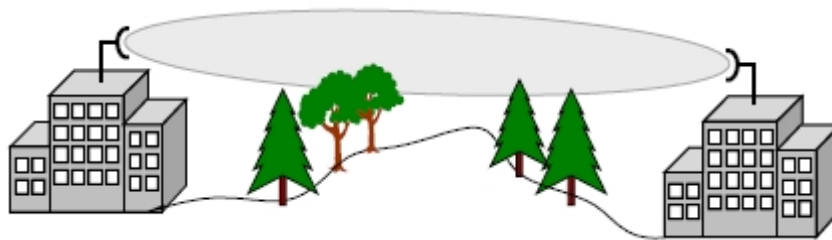


Figura 6: Elipsóide de Fresnel.

Fonte:

<http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless004.asp>

A primeira zona de Fresnel é muito importante nos rádio enlaces, pois dependendo da porcentagem de que esta zona esteja livre de qualquer obstáculo, então a propagação pode ser considerada no espaço livre. Isto porque dentro do primeiro elipsóide de Fresnel, ou seja, no círculo central, as ondas se somam (Felice, 2005).

Existindo a obstrução ocorrerá o bloqueio de parte do sinal. Logo, a radiação precisa de uma região mínima desobstruída que assegure que sua propagação não seja comprometida. Assim, a radiação do círculo central deverá ser considerada a principal e que não deverá ser obstruída.

Para se calcular o raio da elipsóide de Fresnel em um ponto entre o transmissor e o receptor, a fórmula é:

$$R_f = 547,72 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{(d_1 + d_2) \cdot f}} \quad (4)$$

sendo:

n : 1,2,3,...

f : frequência [MHz]

d_1 e d_2 : distâncias [Km] entre o transmissor e o receptor no ponto em que o raio de elipsóide é calculado.

Logo, teoricamente todo o dimensionamento das alturas das torres e antenas do sistema de rádio enlace é baseado no cálculo da porcentagem da liberação da primeira zona de Fresnel. Que para fins práticos é de aproximadamente 60% do elipsóide.

3. Sistemas Passivos

3.1 - Conceito

Sistemas passivos são elementos construídos e inseridos nos enlaces de transmissão de sinais capazes de redirecionar o feixe de ondas eletromagnéticas para localidade denominadas regiões de sombra ou de difícil acesso ao sinal.

O uso de sistemas passivos em sistemas de transmissão de sinais é motivado pela necessidade de contornar obstruções existentes entre as estações de rádio ou teledifusão que não possuem visada direta em seus respectivos enlaces.

Existem várias alternativas de construção de sistemas passivos para o aumento da diretividade. Entre tantos podem ser citados: Refletores retangulares e circulares, difratores, diretores e etc.

Sua utilização é agregada a algumas vantagens inerentes a sua implementação em sistemas convencionais, a saber:

- Não necessita de alimentação oriunda de linhas de energia ou células de energia solar;
- As manutenções periódicas são muito raras ou mesmo inexistentes;
- Possibilita a substituição de um sistema complexo para atender uma determinada demanda;

Todavia, esses sistemas muitas vezes exigem estruturas de suporte ou torres de razoável altura para a fixação das estruturas passivas o que necessita de certa complexidade em sua instalação.

Mesmo sendo complexo, a inserção desses elementos é freqüente em operadoras de telefonia móvel, sistemas de radiodifusão, teledifusão e empresas concessionárias de energia elétrica que empregam muito os sistemas de repetição passiva para contornar relevos problemáticos, tanto no campo como nas cidades.

A utilização destes sistemas requer uma série de procedimentos que serão fundamentadas neste trabalho. O trabalho abordará os principais sistemas envolvidos em retransmissão de sinais, são eles: refletores e difratores.

3.2 - Refletores

Em um sistema de microondas existem muitas características particulares inerentes a esse tipo de transmissão. O equipamento que gera sinal de microondas, por exemplo, é um transmissor com a capacidade de irradiar sinais com amplitude de pequenos comprimentos de onda através de uma antena transmissora, em torno de 1 centímetro de amplitude, na faixa de UHF e estendendo a de SHF.

Porém, por mais simples que possa parecer esse tipo de sistema todos são semelhantes por apresentarem uma característica em comum, a alimentação. Logo, essas estruturas devem ser denominadas de ativas, pois, para funcionar adequadamente devem ser alimentadas.

De forma específica o elemento ativo que existe no foco desses sistemas (Figura 5 - a) necessita de alimentação para poder irradiar as ondas eletromagnéticas no espaço na forma e direção de interesse.

Assim, retirando da estrutura o foco e o colocando no infinito (Figura 5 - b) pode-se eliminar a necessidade de alimentação próxima a estrutura do refletor, originando com o mesmo parte de certo rádio enlace.

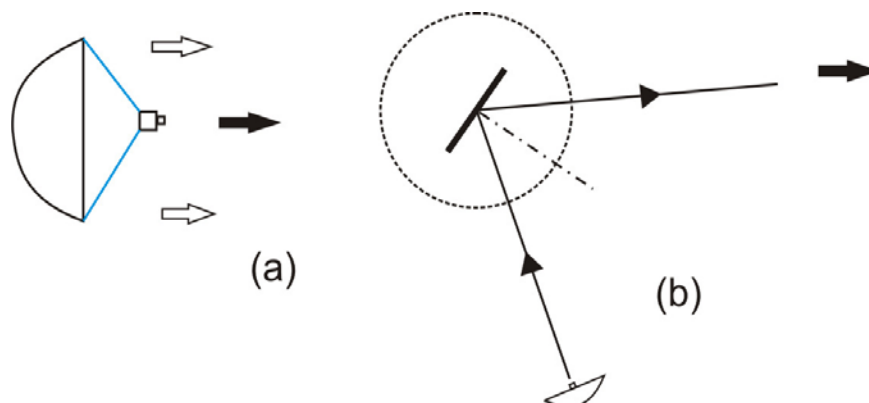


Figura 7: Sistema com alimentação (a), sistema sem alimentação (b) (Esteves, 1980).

A partir desta idéia, criaram-se os refletores passivos, constituídos de uma superfície refletora plana (retangular ou circular) composta de painéis modulares que

podem ser unidos para formar um refletor nas dimensões adequadas à determinada aplicação.

As leis que regem a ação de desvio do sinal incidente são oriundas da óptica geométrica, que trata os sinais nessa frequência como um feixe pontual direcionados em linha reta e refletido de forma prévia.

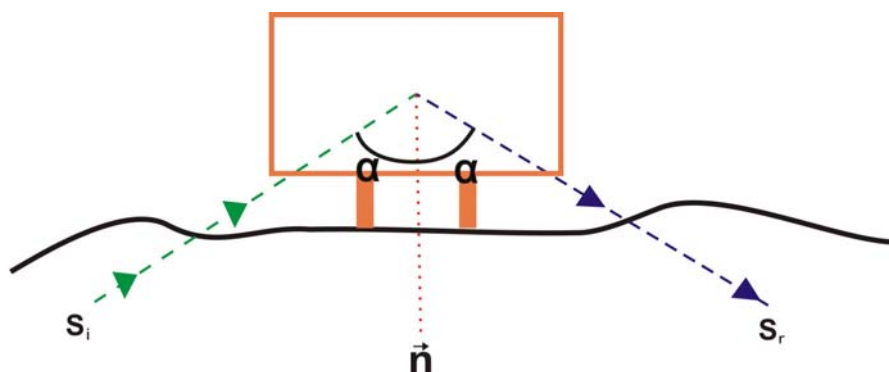


Figura 8: Refletor Passivo retangular com caracterização dos sinais incidente e refletido (Esteves, 1980).

Na figura 8 temos:

Si: Sinal incidente na superfície passiva

Sr: Sinal refletido na superfície passiva

Porém, como o sinal é caracterizado por uma frequência abaixo da velocidade da luz pode-se afirmar que o mesmo não se comporta de forma pontual, mas, de forma a se espalhar no espaço. Portanto, eles possuem um diagrama de radiação concentrando em seu lóbulo principal a maior intensidade de sinal do qual se pode definir a direção de preferência para atender à determinada aplicação.

3.3 - Configurações

Cada aplicação pode demandar uma configuração diferente, pois, a topologia do terreno e as distâncias (Antena transmissora – Refletor e Refletor – Antena

receptora), podem influenciar de maneira significativa no projeto devido à presença de obstruções ou não do elipsóide de Fresnel e as perdas no espaço livre que venham a existir. A figura 9 apresenta algumas possibilidades.

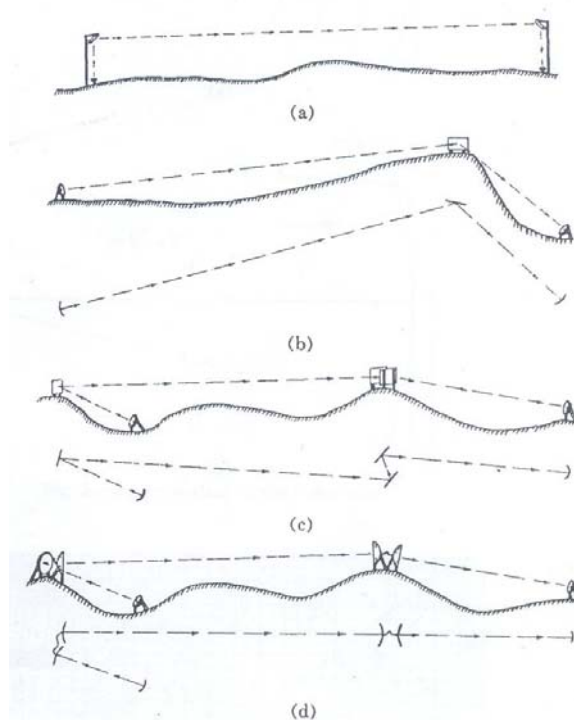


Figura 9: Configurações típicas de sistemas passivos: (a) Periscópico, (b) Refletor Simples, (c) Refletor duplo e (d) antenas costa-a-costa.

Sistema Periscópico – Sistema constituído em campo próximo em visada direta para realizar o redirecionamento do sinal em microondas, utilizando uma antena transmissora em visada direta com refletor passivo em substituição aos guias de ondas que poderiam existir em um sistema convencional.

Refletor Simples – Sistema constituído em campo próximo ou distante para realizar o redirecionamento do sinal em microondas para ângulo $2\alpha < 130^\circ$, utilizando uma antena transmissora, refletor passivo simples e uma antena receptora.

Refletor Duplo - Sistema constituído em campo próximo ou distante para realizar o redirecionamento do sinal em microondas para ângulo $2\alpha > 130^\circ$, utilizando uma antena transmissora, dois refletores passivos e uma antena receptora.

Para tomar a decisão sobre qual das configurações é mais atrativa de ser aplicada, é necessário fazer o levantamento de dois parâmetros para as seguintes condições:

- Se o sistema está em campo próximo ou distante;
- Se o ângulo 2α é maior ou menor que 130° .

3.4 - Campo Próximo e campo distante

Em um sistema de transmissão de sinais, 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 (Balanis, 1982).

O conhecimento das regiões de campo próximo ou distante é de grande importância para as transmissões em microondas por causa das diferenças apresentadas pelos campos EM criados pelo radiador.

Campo distante – Conhecida por região Fraunhofer, essa região é tida por ser afastada da antena onde a distribuição angular do campo é independente da distância a partir desta. Resulta em uma característica predominantemente de onda plana, com distribuição uniforme dos campos elétrico e magnético em planos transversais à direção de propagação.

Campo Próximo - A região localizada perto da antena, onde os campos elétricos e magnéticos não possuem uma característica de onda plana, variando consideravelmente de ponto para ponto. O mesmo ainda se subdivide em campo próximo radiante e campo próximo reativo. O campo próximo radiante é qualquer localização no raio entre a distância do campo próximo reativo dado pela equação 5 abaixo e a distância ou linha imaginária de início da região de campo distante dado pela equação 6 (Balanis, 1982).

$$R < 0,62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (5)$$

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (6)$$

O termo “região de campo próximo” não possui uma definição muito precisa, com significados diferentes para grandes e pequenas antenas.

A região de campo distante é importante para a radiopropagação, pois, é assumido como o ponto de partida para a delimitação de caracterização da transmissão de sinais. Portanto, deve ser delimitada a fronteira entre ela e o campo próximo para cada projeto.

Assim, a região de campo próximo é geralmente usada no projeto de antenas com um ou vários elementos de forma a induzir nestes a energia que estaria perdida. Desta forma aproveitando-a, induzindo-a ao elemento parasita, tanto diretor, quanto refletor, se for o caso.

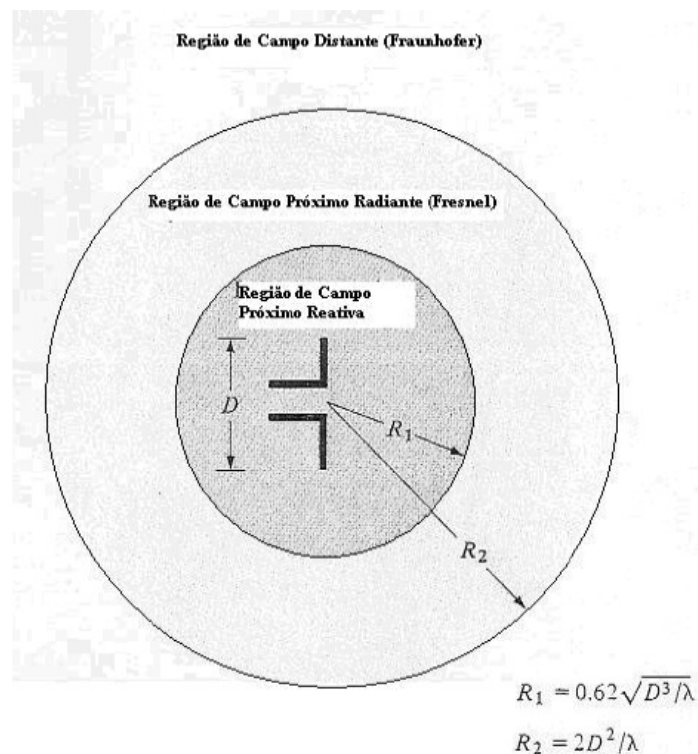


Figura 10: Região dos campos de propagação de antenas (Balanis, 1982).

3.5 - Localização

A sistemática para a localização do refletor passivo inicia-se com a obtenção das curvas de nível. A cobertura da região por curvas de nível é necessária para permitir avaliação correta da ocorrência de visibilidade por parte das antenas e o refletor.

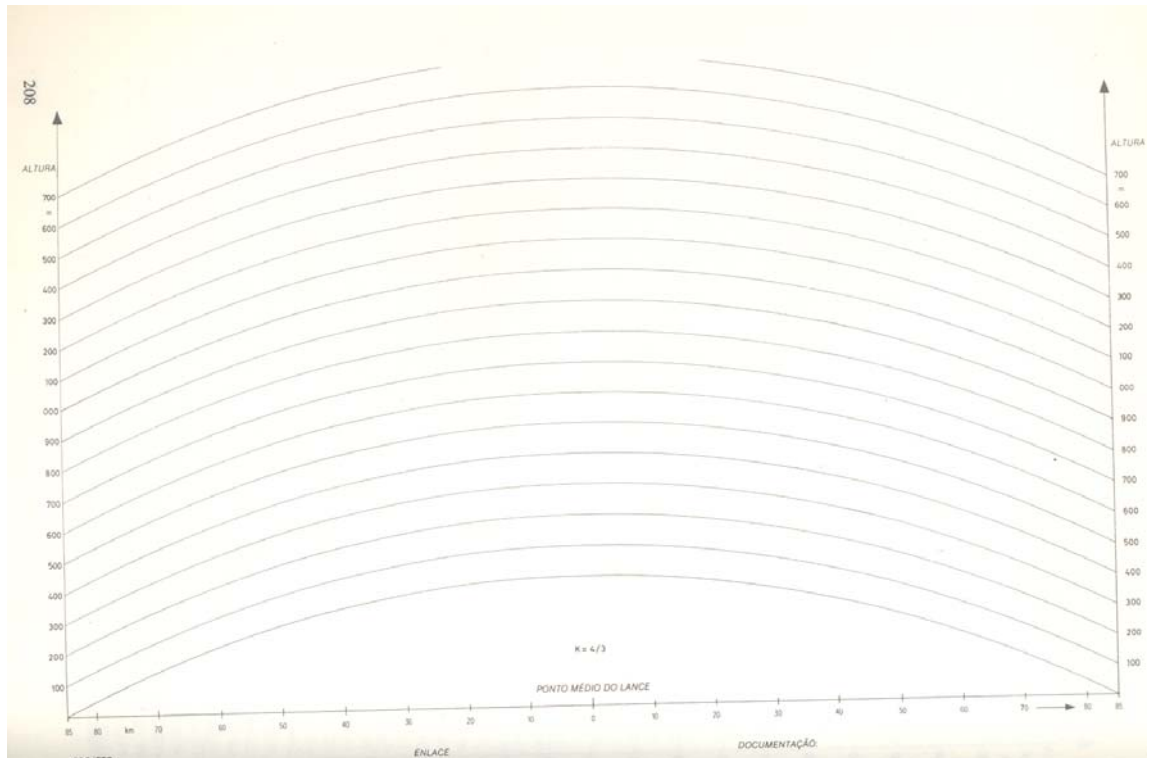


Figura 11: Papel usado para fazer o levantamento de Perfil.

Porém, para que o perfil seja determinado de maneira correta é necessário determinar o valor de K (fator raio de curvatura da Terra) apropriado. Em estudos de sinas para rádio o valor de K é $\frac{4}{3}$ (valor típico), mas, em enlaces muito longos deve-se ter um cuidado especial com esse valor, pois, a influência da variação do valor de K no sinal recebido se dá na ocorrência de desvanecimento mais crítico.

Utilizando-se o levantamento de perfil, o engenheiro de microondas terá total segurança para exercer as decisões baseados no conhecimento daquilo que o sinal poderá encontrar em seu percurso.

A localização do ponto para instalação de um refletor passivo deve ser feita seguindo os mesmos critérios usados para um enlace normal. Sabendo disso, e do fato que o alimentador não está presente junto à estrutura parabólica (refletor passivo), é necessário realizar um alinhamento ótico, anterior ao alinhamento radioelétrico (Esteves, 1980).

Assim, para dimensionar o refletor e sua localização no terreno, é necessária a determinação de três ângulos:

Ângulo horizontal 2α : ângulo existente entre os raios dos sinais, transmitido a partir da Estação A e recebido (Estação B), projetado sobre o plano horizontal. O ângulo $\Delta\alpha$ é uma correção na orientação do refletor passivo que deve ser feita no sentido da trajetória do ângulo de menor valor absoluto.

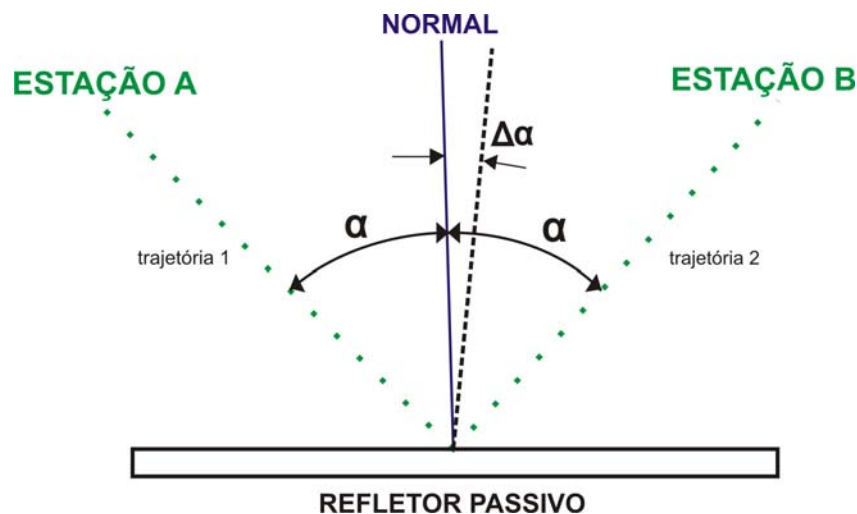


Figura 10: Ângulo horizontal do refletor passivo.

onde,

2α : ângulo no plano horizontal entre as trajetórias dos enlaces

$\Delta\alpha$: ângulo de correção horizontal

Ângulo vertical θ_1 : Ângulo vertical entre o deslocamento (refletor a Estação A) e a horizontal e expresso pela equação 7 abaixo (TELEBRÁS, 1979):

$$\theta_1 = \text{tg}^{-1} \frac{(H_0 + h_0 + 0,0588 \cdot d_1^2) - (H_1 + h_1)}{1000 \cdot d_1} \quad (\text{TELEBRÁS, 1979}) \quad (7)$$

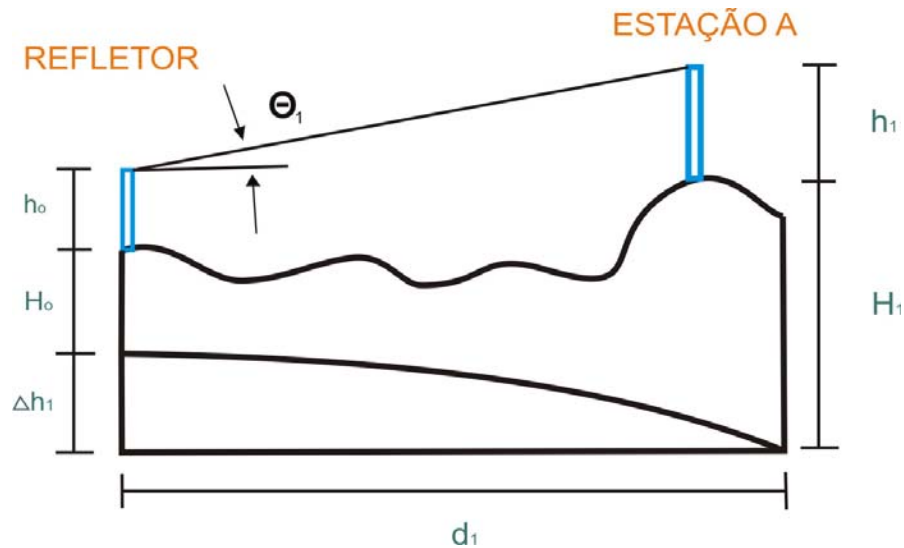


Figura 12: Ângulo entre a estação A e o refletor passivo.

h_0 : altura do centro do refletor passivo, em relação ao solo, em metros.

h_1 : altura do centro da antena da estação A, em relação ao solo, em metros.

H_0 : altura do solo no local do refletor passivo, em relação ao nível do mar, em metros.

H_1 : altura do solo (base da torre) na estação A, em relação ao nível do mar, em metros.

Ângulo vertical θ_2 : Ângulo vertical entre o deslocamento (refletor a Estação B) e a horizontal e expresso pela equação 8 abaixo:

$$\theta_2 = \text{tg}^{-1} \frac{(H_0 + h_0 + 0,0588 \cdot d_2^2) - (H_2 + h_2)}{1000 \cdot d_2} \quad (8)$$

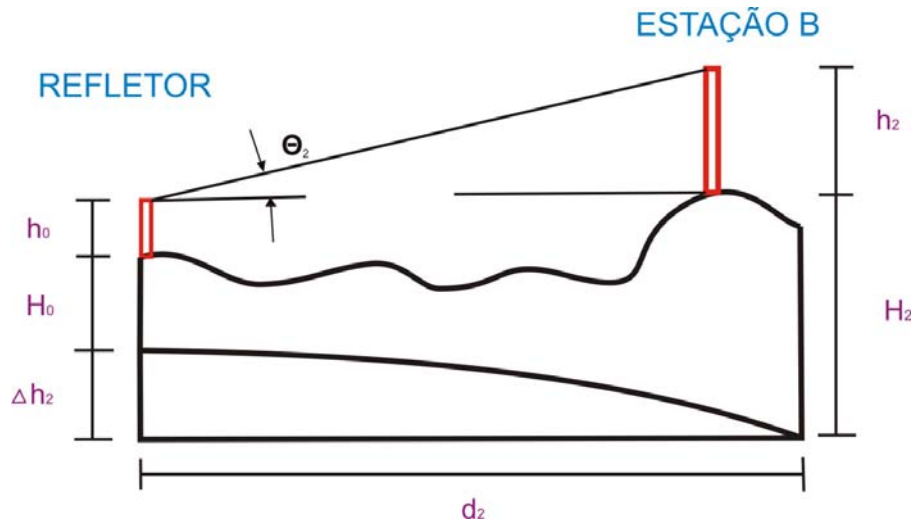


Figura 13: Ângulo entre a estação B e o refletor passivo.

h_0 : altura do centro do refletor passivo, em relação ao solo, em metros.

H_2 : altura do centro da antena da estação B, em relação ao solo, em metros.

H_0 : altura do solo no local do refletor passivo, em relação ao nível do mar, em metros.

H_2 : altura do solo (base da torre) na estação B, em relação ao nível do mar, em metros.

Vale destacar que as distâncias das estações até o refletor, são parâmetros importantes nos cálculos, assim como, o fator raio curvatura da Terra, que em transmissões em microondas e por distâncias não muito grandes poderá ser considerado igual a $K = \frac{4}{3}$.

3.6 - Ganho do refletor

A determinação do valor do ganho do refletor passivo está interligada ao conhecimento da região de campo próximo ou distante.

Segundo (Norton, 1962), considera-se que para determinação do ganho de um refletor passivo em campo distante é necessário saber a área projetada (Figura

14), pois, o valor do ganho é diretamente proporcional ao quadrado dessa área conforme apresentado na equação (9) abaixo:

$$G_p = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot a^2}{\lambda^2} \right) \quad (9)$$

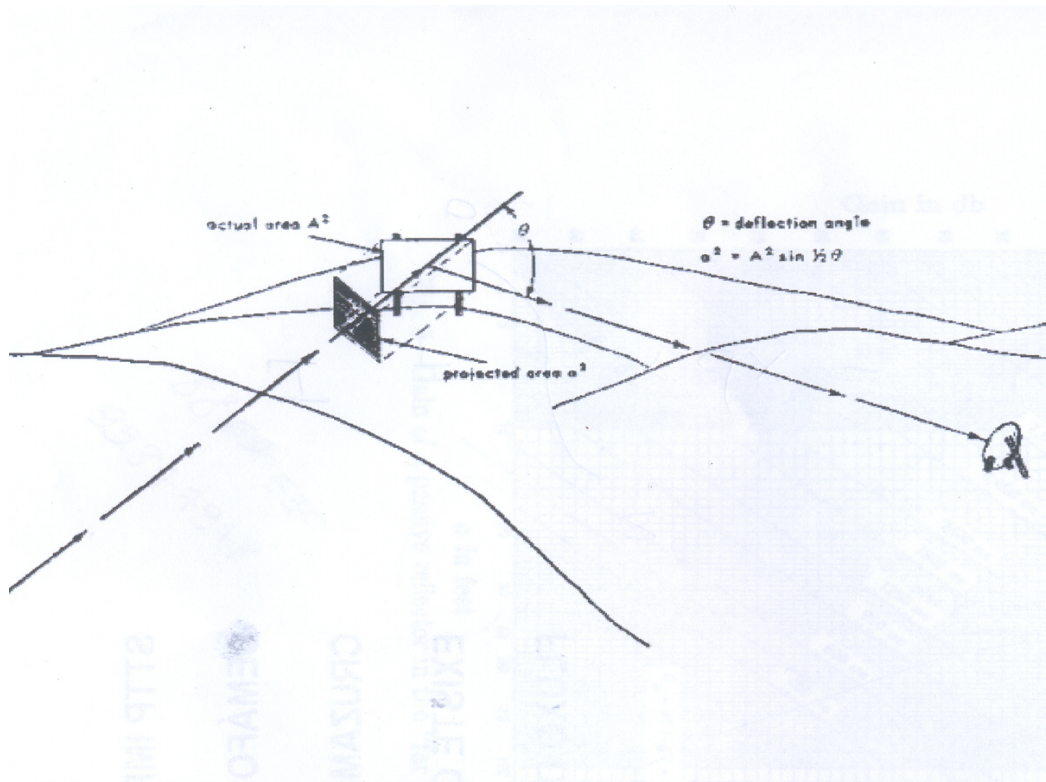


Figura 14: Determinação da área projetada do refletor passivo (Norton, 1962).

Sabe-se que qualquer que seja o sistema, podem existir perdas. No caso do refletor não é diferente, sua eficiência no ganho não é de 100%. Assim para um cálculo mais próximo da realidade, reescreve-se a equação (10) o valor do ganho do refletor passivo.

$$G_p = 0,95 \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot a^2}{\lambda^2} \right) \quad (10)$$

que pode ser convertida para dB e expressada pela equação (11) abaixo:

$$G_p = -97,9 + 40 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(a^2) \quad (11)$$

onde,

f – frequência dado em Hz

a – Dimensão do lado do refletor dado em pés.

3.7 - Difratores

As aplicações dos sistemas passivos baseados em difratores são originadas da união da forma de aplicação dos refletores duplos à simplificação da teoria dos refletores simples (Esteves, 1980).

O difrator é um repetidor passivo utilizado para reduzir a perda de obstrução causada por um obstáculo no caminho de propagação. A obstrução que o relevo causa ao sinal direto impossibilita a efetivação de transmissão.

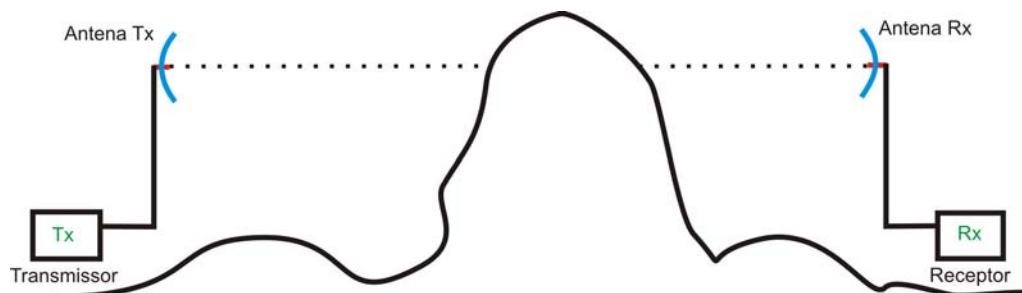


Figura 15: Sistema de transmissão com bloqueio de uma obstrução.

Assim, para o sinal transpor o obstáculo implanta-se sobre o mesmo o difrator. O difrator comporta-se como um cume artificial permitindo uma difração semelhante à de um gume de faca ideal.

O fenômeno de difração acontece devido a um conjunto de lâminas, tanto metálica quanto dielétrica, com aberturas que se encontram localizadas de forma adequada.

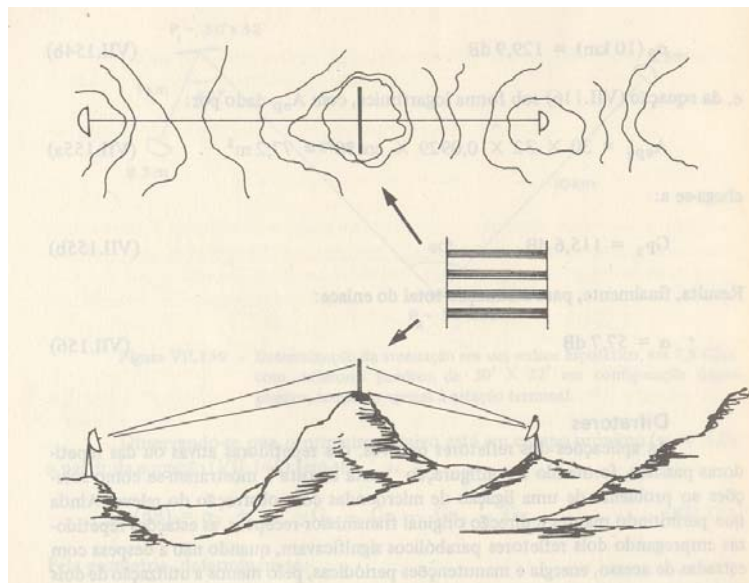


Figura 16: Aplicação de um difrator para transpor o obstáculo (Esteves, 1980).

Os difratores possuem vantagens inerentes a sua estrutura. Para enlaces com obstrução, os critérios de visibilidade exigem que as antenas (torres), sejam elevadas. Entretanto, utilizando um difrator para redirecionar o sinal, é possível a diminuição das alturas destas antenas. Assim, comprimentos de guias de onda podem ser reduzidos, além de permitir a escolha de antenas de ganhos menores.

3.8 - Configurações

Os difratores são subdivididos em duas categorias, classificação baseada no tipo de material constituinte para a sua construção ou implementação física. São elas:

- Difratores de obstrução: São difratores constituídos por lâminas metálicas para realizar o efeito da difração no sinal incidente.
- Difratores dielétricos: São difratores constituídos de materiais dielétricos para produzirem o efeito da difração no sinal incidente.

A segunda categoria apresenta sérias dificuldades do ponto de vista da resistência mecânica ao vento, de modo que a primeira parece ser preferível, quando é possível esta escolha.

Quanto às formas dos elementos, existem duas propostas: elementos retangulares ou anéis cilíndricos. O segundo apresenta a vantagem de possuir um

ganho ligeiramente maior que o primeiro, porém, existe a dificuldade de suspender elementos com essa forma geométrica, sobretudo quanto à influência das correntes de vento, o que poderia resultar em difrações equivocadas. Dessa forma, todas as considerações feitas neste trabalho serão constituídas por difratores por um ou vários elementos metálicos retangulares e horizontais (Figura 16).

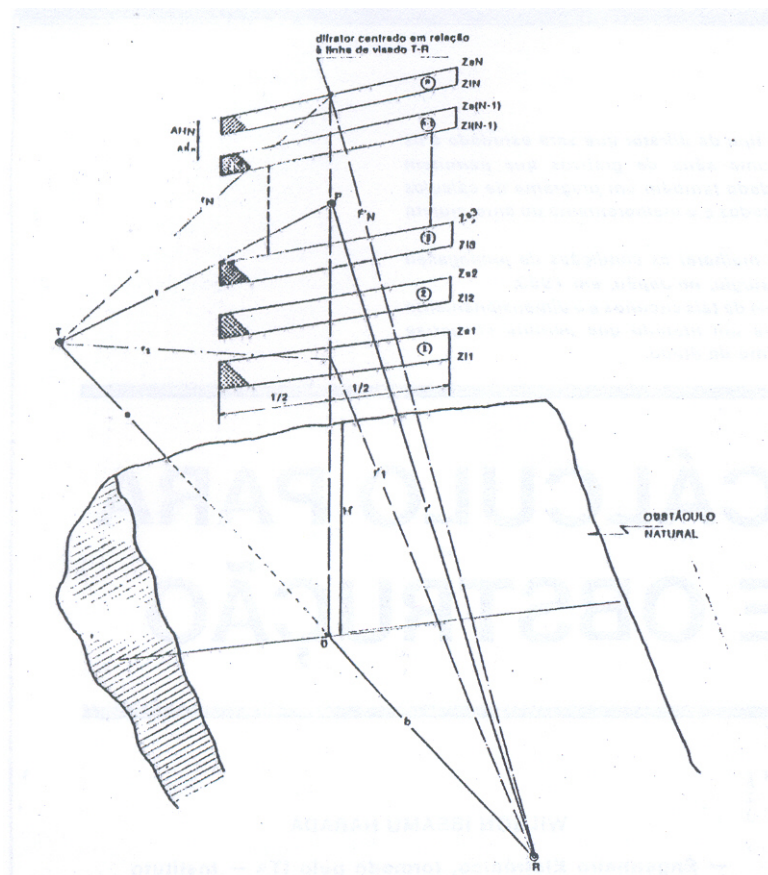


Figura 17: Difrator de bloqueio de N lâminas.
(Fonte: TELEBRÁS, 1979).

3.9 - Campo Próximo e campo distante

Na análise de campo próximo ou distante são feitas algumas considerações que permitem simplificar todos os cálculos para obtenção dos valores de campo e o diagrama de radiação.

Para o desenvolvimento a seguir, considera-se cada abertura do difrator como sendo uma antena e o espaçamento entre estas antenas como sendo constante e

igual a d . Assim, a análise será feita considerando-se a matriz linear de antena da Figura 18 abaixo, onde está indicada a sua radiação na direção, a um ponto p distante.

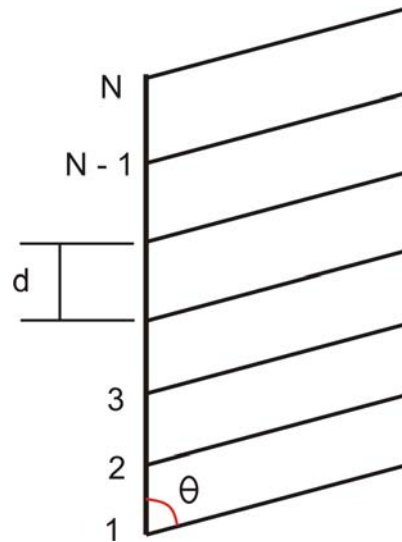


Figura 18: Matriz linear de antenas. (FONTE: TELEBRÁS, 1979).

Para simplificação do estudo é considerado que todas as antenas são idênticas de mesma excitação em amplitude, mas com uma defasagem $\Delta\phi$ de uma para a outra.

Utilizando (PRÁTICA TELEBRÁS, 1979), a direção do lóbulo principal será dada por:

$$\theta_0 = \arccos\left(\frac{\Delta\phi}{kd}\right) \quad (12)$$

onde,

$\Delta\phi$: defasagem entre as antenas na matriz de antenas.

$$e \quad k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$$

Portanto, pode-se concluir que a direção do lóbulo principal pode ser alterada realizando a variação de $\Delta\phi$. Logo, realizando uma escolha adequada dos valores das fases resultará em uma defasagem $\Delta\phi$ entre as aberturas, de tal forma que o lóbulo principal seja orientado na direção desejada.

Para o projeto de difratores as ondas são consideradas em coordenadas esféricas, possibilitando a simplificação na obtenção das fases e defasagens $\Delta\phi$ das lâminas para redirecionar o lóbulo principal. Assim, conclui-se que o difrator é tipicamente um elemento de campo próximo. Porém, em microondas todos os casos de difratores são em campo distante sendo o campo próximo, um caso à parte.

3.10 - Localização

A estrutura que constitui o difrator deverá atender inteiramente às suas especificações mecânicas e de precisão e o difrator deverá atender a todas as suas características elétricas sem nenhuma degradação de origem climática.

Para a localização do difrator é necessário conhecer-se as características do enlace em estudo, determinadas através da prospecção de campo, escolhendo-se o local mais adequado para a instalação do difrator.

A região de sombra deverá ser descrita e detalhadamente caracterizada informando-se o tipo de terreno, da vegetação além das curvas de nível que são necessárias para avaliação correta da posição adequada para o difrator (ver figura 9).

3.11 - Ganho do difrator

Os difratores constituídos com lâminas de chapa de alumínio ou tela de aço galvanizado possuem um valor teórico para eficiência de abertura de 0,64, para o caso de um difrator de formato circular.

Para o difrator de obstrução constituído por N elementos, no caso do difrator de referência da Figura 17, sobre o gume de faca do primeiro com altura igual à borda superior do primeiro elemento deverá ser:

$$G_d = 20 \cdot \log(2N) \quad (13)$$

G_d : Ganho do Difrator;

N : Número de lâminas ou telas do difrator

O número de elementos no difrator depende do valor do ganho final necessário. À medida que se aumenta seu número, aumenta-se, conseqüentemente, o ganho do repetidor passivo; isto implica em uma maior seletividade em freqüência, porém, provoca uma limitação da faixa de freqüência (Esteves, 1980).

Vale destacar que uso de lâminas dielétricas ao em vez de lâminas metálicas no difrator corrige a defasagem relativa em π , resultando em um aumento de 6dB no ganho.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 - Critério de radiovisibilidade

Para a verificação da existência de rádio visibilidade é necessário saber o perfil do enlace, obtido a partir ou de curvas de nível – digitalizada para o caso de utilização de programas computacionais, ou de levantamentos em campo. Neste estudo o levantamento de perfil foi realizado utilizando o software Google Earth junto com as curvas de nível da cidade de Campina Grande (ver anexos).

Com isto, deve-se aplicar a correção equivalente da curvatura da Terra – fator K ao perfil do enlace.

A escolha do valores do parâmetro K seguirá as recomendações contidas nas publicações da TELEBRÁS, que datam da época dos projetos dos rádios analógicos e que adotam valores de $2/3$ e $4/3$ para o $K_{\text{mínimo}}$ e $K_{\text{máximo}}$, respectivamente.

Após a aplicação do fator K , determina-se a altura da antena baseando-se na porcentagem do raio de Fresnel que terá que ser liberado que varia de acordo com a frequência de operação do radio enlace, que no caso deste trabalho é 503 MHz.

Em resumo, este trabalho não tratará de maneira nimunciosa o procedimento de obtenção dos $K_{\text{mínimo}}$ e o $K_{\text{médio}}$, porém, para maiores esclarecimentos a recomendação ITU-R 530-09 possibilita realizar o levantamento desses parâmetros para os mais variados casos.

Além do fator K , na recomendação ITU-R 530-09, existe um modelo para o cálculo da altura das antenas. A fórmula para o cálculo da altura da antena, tomando-se como premissa uma altura de referência que se deve adotar na estação A, e com isso obter da estação B.

Neste estudo os valores das estações A e B já são conhecidos devido o sistema passivo ser uma inovação tecnológica proposta para empresa. Para tais estações os respectivos valores medidos são: 69m e 10m.

O levantamento topográfico foi realizado com as curvas de nível do município de Campina Grande e, são apresentados os resultados a seguir.

Informações foram passadas pela empresa sobre a possível localização do elemento passivo. Após a constatação da veracidade da informação através das

curvas de nível da cidade, pôde-se afirmar que o local de instalação do refletor passivo simples seria no alto da Bela Vista (Campinense Clube).

Para aperfeiçoar a caracterização da região de sombra através das curvas de perfis foram traçados três enlaces, portanto da Bela Vista (local do repetidor) para pontos distintos no Conjunto dos Professores (Anexo 1): dois correspondentes às extremidades do bairro (enlaces B e C), a região mais distante do ponto onde seria colocado o refletor (Bela Vista) e um terceiro ponto para a região central do bairro (enlace A). Os mesmos foram traçados no programa Google Earth e confrontando os dados das curvas de nível fornecidos pelo município.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentadas abaixo representam os valores de altitude dos pontos traçados pelos enlaces A, B e C respectivamente, que representam o levantamento topográfico do bairro em estudo. Em paralelo com as latitudes foram determinados valores de campo incidentes na frequência da empresa para as suas respectivas portadoras de áudio de vídeo.

Tabela 2: Enlace A entre a Bela Vista e o ponto central no Conjunto dos

Pontos	Altitude - Curvas de Nível do Município (m)	Altitude - Google Earth (m)	Valor de Campo da portadora de vídeo (dBm)	Valor de Campo da portadora de áudio (dBm)
A1	575	571	-60,0	-65,4
A2	573	565	-71,6	-78,0
A3	563	561	-51,4	-61,3
A4	556	556	-65,0	-72,0
A5	547	554	-64,2	-74,0

A	528	531	-50,5	-63,0
A6	542	553	-60,6	-70,1
A7	535	544	-59,0	-67,2

Tabela 3: Enlace B entre a Bela Vista e a extremidade a esquerda do ponto central no Conjunto dos Professores.

Pontos	Altitude - Curvas de Nível do Município (m)	Altitude - Google Earth (m)	Valor de Campo da portadora de vídeo (dBm)	Valor de Campo da portadora de áudio (dBm)
B1	572	566	-48,8	-54,1
B2	566	554	-55,5	-65,5
B3	558	548	-53,8	-62,0
B4	550	544	-44,0	-53,0
B5	540	538	-58,6	-66,8
B6	530	537	-62,5	-72,6
B7	526	535	-74,0	-78,0
B8	518	526	-59,8	-67,8
B	510	516	-57,9	-67,2

Tabela 4: Enlace C entre a Bela Vista e a extremidade a direita do ponto central no Conjunto dos Professores.

Pontos	Altitude - Curvas de Nível do Município (m)	Altitude - Google Earth (m)	Valor de Campo da portadora de vídeo (dBm)	Valor de Campo da portadora de áudio (dBm)
C1	570	567	-40,8	-53,4
C2	555	558	-66,8	-74,0
C3	545	552	-64,0	-66,0
C4	530	539	-69,0	-75,2
C5	528	537	-69,0	-70,0
C6	526	537	-63,0	-74,0
C7	522	529	-59,9	-68,2
C	517	523	-61,0	-70,2

Verificou-se que em um mesmo bairro existe uma variância grande de perfil com destaque para os pontos extremos B e C que se encontram na mesma rua e com valores distintos 510m e 517m respectivamente. Na prática nem todos os pontos foram levados em consideração de campo, pois, eram tão próximos a um ponto já medido, que foi desconsiderada outra medição.

Os sinais de vídeos e de áudio próximos a Bela Vista possuem valores significativos de campo chegando até ser perceptíveis a receptores comuns (aparelhos de televisão), porém, nas extremidades do bairro a realidade é totalmente de contrária.

Em Anexos(1 e 2) estão representadas o levantamento topográfico dos três enlaces A, B e C com seus respectivos valores de nível de campo registrados com o software Google Earth e com as curvas de nível do município.

Além dos dados coletados foi realizada uma simulação em linguagem de programação Matlab (ver Anexos 6 e 7), servindo como uma pré-análise do comportamento de parâmetros essenciais para o projeto: área e ganho do refletor além, de levar em conta o crescimento da atenuação no espaço livre oriunda do aumento da distância do receptor.

4.2 - Cálculo das perdas no espaço-livre

O cálculo da perda do sinal transmitido no espaço livre, perda básica que independe da antena utilizada, é dado pela equação (3). Que resultou nos seguintes valores para os enlaces: estação A – repetidor e repetidor – estação B, 101,44dB e 84,54dB respectivamente (ver anexos).

Para o caso da frequência em estudo 503 MHz, no caso em que o primeiro raio de Fresnel esteja livre de obstruções, tem-se a Figura 18, apresentando a atenuação em função da distância. Nele nota-se que, quando se dobra ou se reduz pela metade a distância, respectivamente se adiciona ou subtrai 6 dB ao valor inicial.

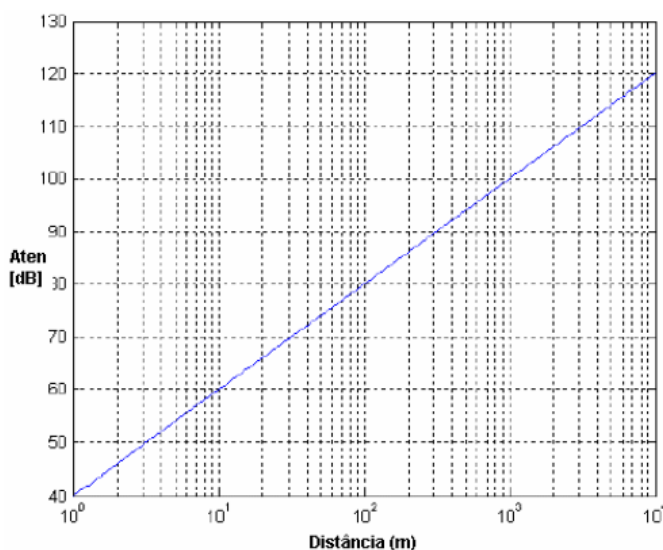


Figura 19: Atenuação no espaço-livre para frequência de 503MHz.

4.3 - Escolha do elemento passivo

O conhecimento do local de instalação do refletor permite avaliar melhor as características do perfil topográfico da região de sombra em virtude das variações associadas às mesmas dependendo de extensão territorial.

Para uma tomada de decisão sobre qual elemento passivo optar para determinada instalação deve-se verificar a Figura 19 abaixo:

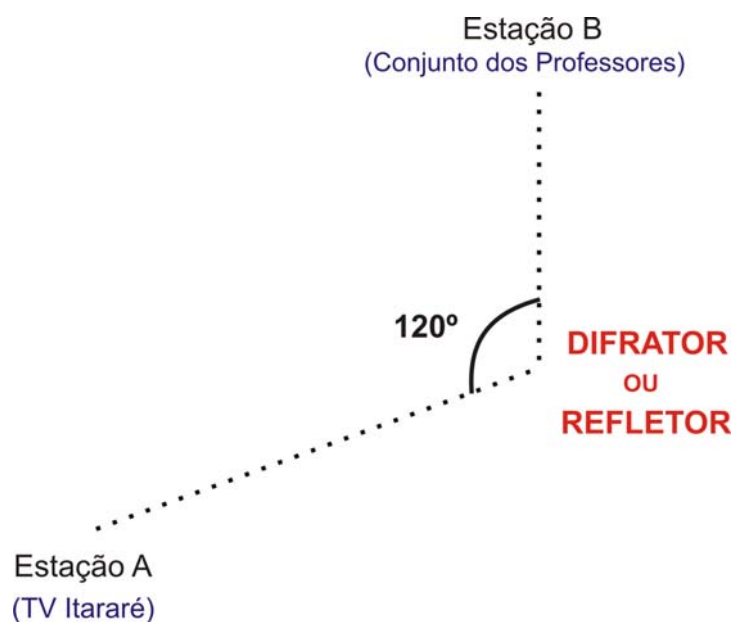


Figura 19: Representação do enlace em estudo de caso.

Para selecionar o tipo de elemento passivo pode-se utilizar uma lista de parâmetros que devem ou não viabilizar a escolha de um em detrimento ao outro. Segue abaixo a lista dos parâmetros:

- Ganho do elemento passivo;
- Área real do elemento;

Porém, dispondo da Figura 19 acima se pode eliminar a investigação comparativa entre os dois elementos pela presença de uma característica peculiar neste caso, o ângulo $2 \cdot \alpha$.

Em situações em que este ângulo não é 180° (ver Figuras 15 e 16), a aplicação do difrator se torna ineficiente, visto que as estações de transmissão e recepção devem ser colineares através da obstrução.

Logo, para fins práticos nesse estudo justifica-se o uso do refletor passivo como o elemento passivo que deve ser usado na retransmissão de sinais para solucionar o problema existente na região de sombra.

4.4 - Cálculo da atenuação total líquida (A_t)

A atenuação total líquida para um enlace é dada por:

$$A_t = A_e + A_{ab} + A_{rmf} + A_{ca} + A_{cb} + A_{tTx} + A_{tRx} + A_{tob} - (G_T + G_R) \quad [\text{dB}] \quad (14)$$

onde:

A_e – atenuação no espaço livre (dB);

A_{ab} – atenuação devido à absorção na atmosfera (dB);

A_{rmf} – atenuação total no circuito de ramificação nos lados Tx e Rx (dB);

A_{ca} – atenuação no guia de onda/cabo de RF da estação A (dB);

A_{cb} – atenuação no guia de onda/cabo de RF da estação B (dB);

A_{tTx} – valor da atenuação no lado do Transmissor (dB);

A_{tRx} – valor da atenuação no lado do Receptor (dB);

A_{tob} – valor da perda por obstrução (dB);

$G_T + G_R$ – ganhos das antenas de transmissão e recepção (dBi).

4.5 - Cálculo do nível de recepção nominal (P_{rn})

A fórmula para o cálculo do nível de recepção nominal sem desvanecimento - P_{rn} é importante para o cálculo da margem de desvanecimento do sistema e é dada por:

$$P_{rn} = P_t - A_t \quad [\text{dBm}] \quad (15)$$

onde:

P_t – potência de transmissão em dBm;

A_t - atenuação total em dB.

Os valores de potência e atenuação são obtidos de maneira aproximada pelas expressões 3, 15 ou 16 (ver Figura 20).

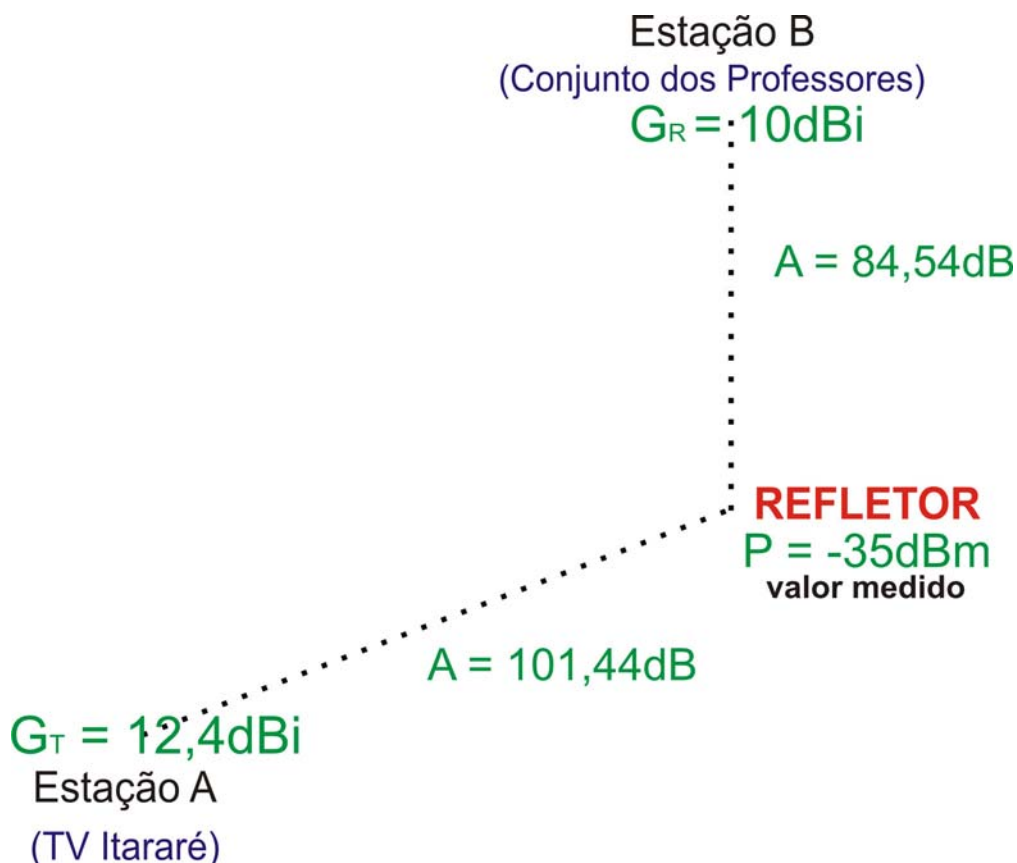


Figura 20: Ganhos e atenuações do enlace Itararé – Conjunto dos Professores.

O valor de campo apresentado é resultado de medições externas no próprio Conjunto dos Professores. Destaque para o ponto onde será situado o refletor passivo (Bela Vista), onde mensurou um nível de campo igual a -35dBm .

Com os resultados dos níveis de campo procedeu-se uma consulta a empresa visando saber a informação de nível de campo aceitável para o sinal transmitido por eles. O valor fornecido foi de 500 a $700\mu\text{V}$ que convertendo em dB indica um valor de -52dBm . Considerando um ganho de antena no receptor igual a 10dB tem-se que o valor do ganho no refletor deve ser aproximadamente de $59,54\text{dB}$.

Conhecido o valor do ganho do refletor, foi obtido um valor de lado de área real de $7,39\text{m}$ que pode ser considerado um valor baixo comparado a possibilidade de cobrir toda região de sombra valores convencionais existentes para esse tipo de estrutura.

Porém, essa estrutura contínua não apresenta muitas vantagens devido a sua complexidade de confecção, instalação e ajuste mecânicos relativos aos ângulos θ_1 , θ_2 e θ_3 calculados. Por ser chapada, sua aplicação se torna ineficiente devido à

região em que irá se situar (Bela Vista), onde as correntes de vento tornam-se um fator que poderá alterar significativamente o desempenho do refletor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos conclui-se que a localização que melhor se adequa as condições impostas pelo estudo é o Bairro da Bela Vista (no Campinense Clube), pois apresenta uma altitude significativa 578m e uma visada direta para todo o bairro na região de sombra.

Que o método baseado nas antigas aplicações TELEBRÁS é de grande valia atestando de forma adequada o estudo de refletor passivo.

Percebe-se que, no estudo, não foi necessário conhecer totalmente a fonte da transmissão de sinal, mas, parte do sinal que chega até ao local onde será instalado o sistema passivo.

O cálculo da altura das antenas é necessário em sistemas que são projetados desde o início com a presença do elemento passivo pois, considerando mediante essa estrutura pode-se alterar a escolha apresentada neste trabalho.

O refletor passivo simples proposto apresenta-se semelhante àqueles propostos em várias aplicações típicas em RF. Mesmo sendo complexa sua inserção, são freqüentemente utilizados em operadoras de telefonia móvel, sistemas de radiodifusão, teledifusão e empresas concessionárias de energia elétrica que empregam muito os sistemas de repetição passiva para contornar relevos problemáticos, tanto no campo como nas cidades.

O estudo e aplicação do difrator são válidos somente para os casos em que os pontos de transmissão, repetição e recepção estejam na mesma linha de atuação.

A estrutura física do difrator (lâminas), em relação ao refletor apresenta um rendimento menor o que pode ser considerado em alguns casos fator determinante para a escolha entre ambos.

Para que os elementos passivos sofram pouca carga de vento é necessário que as áreas dos mesmos possuam orifícios em sua estrutura. O dimensionamento dos orifícios devem respeitar a relação $\lambda \geq 2 \cdot d$. Em sendo atendida o sinal será refletido da mesma forma como no caso de uma estrutura chapada.

Logo, uma malha caracterizada por dimensões onde $\lambda = 2 \cdot d \approx 0,596$ m será uma alternativa eficiente para a construção da estrutura. Esta solução beneficiará a

empresa, já que trará na relação custo/benefício, pois, a estrutura será mais barata e atuará com a mesma eficiência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Gauber Alex Limeira de. PROJETO DE RÁDIO ENLACE.

Trabalho final da disciplina de Estágio Curricular Supervisionado do curso de Engenharia Elétrica Telecomunicações – UFE, Recife, 2006.

ALENCAR, M. S. **Sistemas de comunicações**. [S. l.]: Ed. Érica, 2000. 296p.

Brasil ENGENHARIA: <http://www.brasilengenharia.com.br/arttelecom534.htm>,
Acessado em 19 de janeiro de 2009.

CAVALCANTI, João Felipe Buenaga. Medidas de rádio propagação em UHF em ambientes suburbanos para TV digital: estudo de cobertura para recepção fixa (Dissertação de mestrado)/João Felipe Buanaga Cavalcanti; orientador: Gláucio Lima Siqueira. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

Conversor de Unidades de Medição:

<http://www.ipem.sp.gov.br/5mt/cv2/index.htm>. Acessado em 23 de janeiro de 2009.

ESTEVES, Luís Cláudio. *Antenas: teoria básica e aplicações*/ Luiz Cláudio Esteves, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1980.

FELICE, Fernando Análise do Desempenho de Enlaces Ponto-a-Ponto utilizando a faixa de Frequência não Licenciada de 2,4GHz em Tecnologia *Spread Spectrum* / Fernando Felice. Curitiba: UFPR / Setor de Tecnologia / Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

ITU – T. RECOMMENDATION ITU-R 525-2. **Calculation of Free-Space Attenuation**, ITU – T. Genebra, Suíça. 1994.

NASCIMENTO, Juarez. **Telecomunicações**. Makron Books, São Paulo, Brasil. 2000. 340 p.

NORTON, I. **Passive reflectors as a means for extending UHF signals down intersecting cross cuts in mines or large corridors**. Isberg, R.A.; Chufo, R.L.

Vehicular Technology Conference, 1962. 28th IEEE, Volume 28, Issue , 22-24, Março de 1978, páginas: 267 – 272.

MIYOSHI, E. M.; SANCHES, C. A. **Projetos de sistemas rádio**. [S.l.]: Ed. Érica, 2002. 534p.

O RÁDIO: <http://www.sitiodosrodeos.com.br/rodeos/ondas/oradio.htm>, Acessado em 22 de janeiro de 2009.

PERRAULT, O; ROSSI, J.P.; BALANDIER, T. Predicting Field Strength with a Neural Ray-Tracing Model. **Proc. IEEE GLOBECOM**, London, England. Nov. 1996.

RADIO POINT: <http://www.radiopoint.com.br/tabconvniveis.htm>. Acessado em 23 de Janeiro de 2009.

REDES WIRELESS:

<http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless004.asp>. Acessado em 27 de Janeiro de 2009.

RIBEIRO, José Antônio Justino. **Propagação de ondas eletromagnéticas: princípios e aplicações**. São Paulo: Érica, 2004

SILVA, G. **Sistemas radiovisibilidade**. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos: Embratel, 1977. 629p.

SISTEMAS DE PRÁTICA TELEBRÁS, série engenharia, pág. 1- 29, 1979, Brasil.

TAVARES JÚNIOR, João Rodrigues. **Modelagem em realidade virtual de rádio enlace**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

TEMES, Lloyd. **Princípios de telecomunicações** / Lloyd Temes; Tradução Lars Gustav Erick Unonius. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

VALLE, Rômulo R. Maranhão, “Fundamentos de Antenas – Um Curso Introdutório”, Apostila da disciplina Antenas e Propagação do Curso de Engenharia Elétrica da UFCG, Campina Grande, 2000.

<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001399/139903por.pdf>

ANEXO 1



Região do Conjunto dos Professores e os Enlaces A, B e C com seus respectivos pontos de medição. Fonte: Google Earth.

ANEXO 2



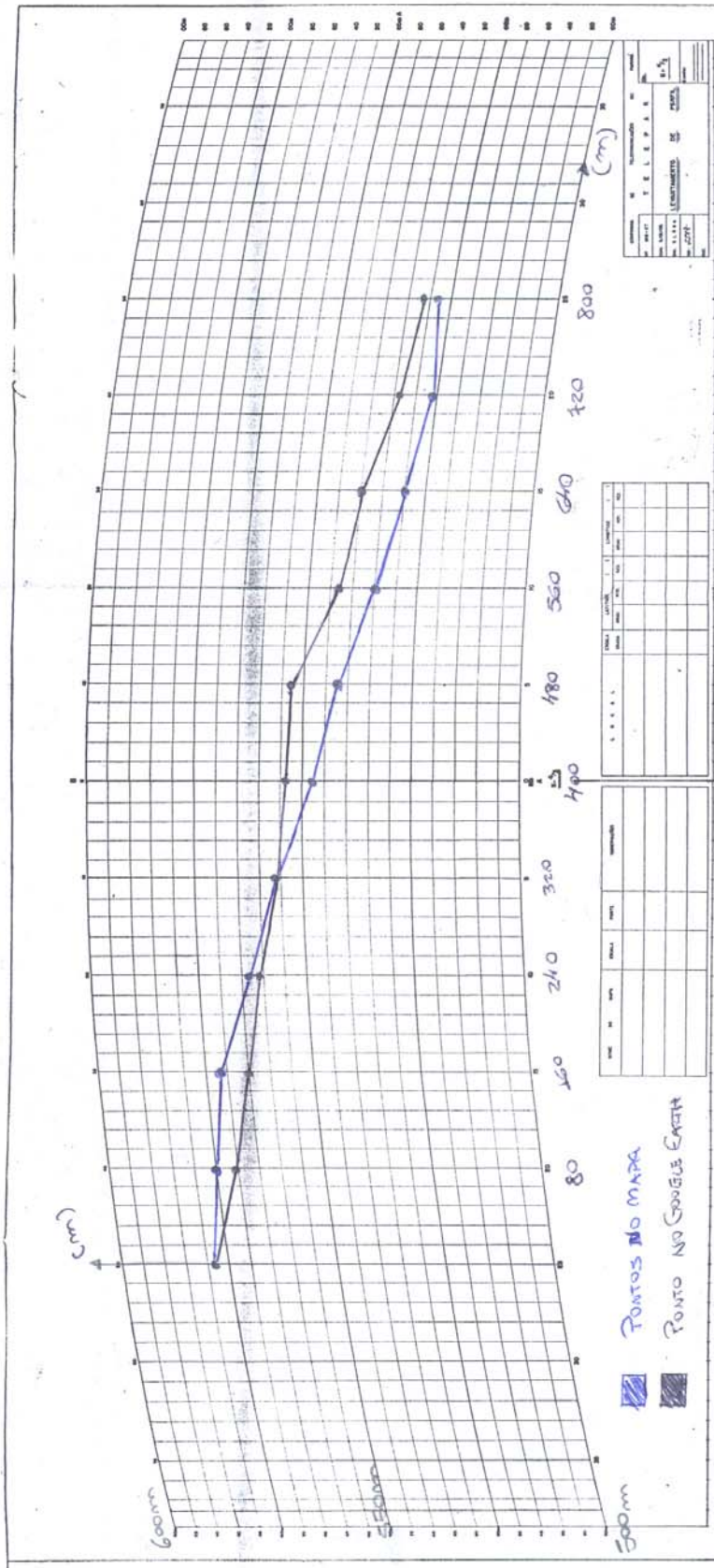
Vista superior dos enlaces: TV Itararé – Bela Vista (refletor passivo) e Bela Vista – Conjunto dos Professores (Ponto A). Fonte: Google Earth.

ANEXO 3

ENLACE A: BELA VISTA - CENTRO DO CONSÓRCIO DOS PROFESSORES

• DISTÂNCIA DO ENLACE A: 5,00m @ 800m (MAPA)

• ESCALA DO TASSO: 10% DA = 0,5cm



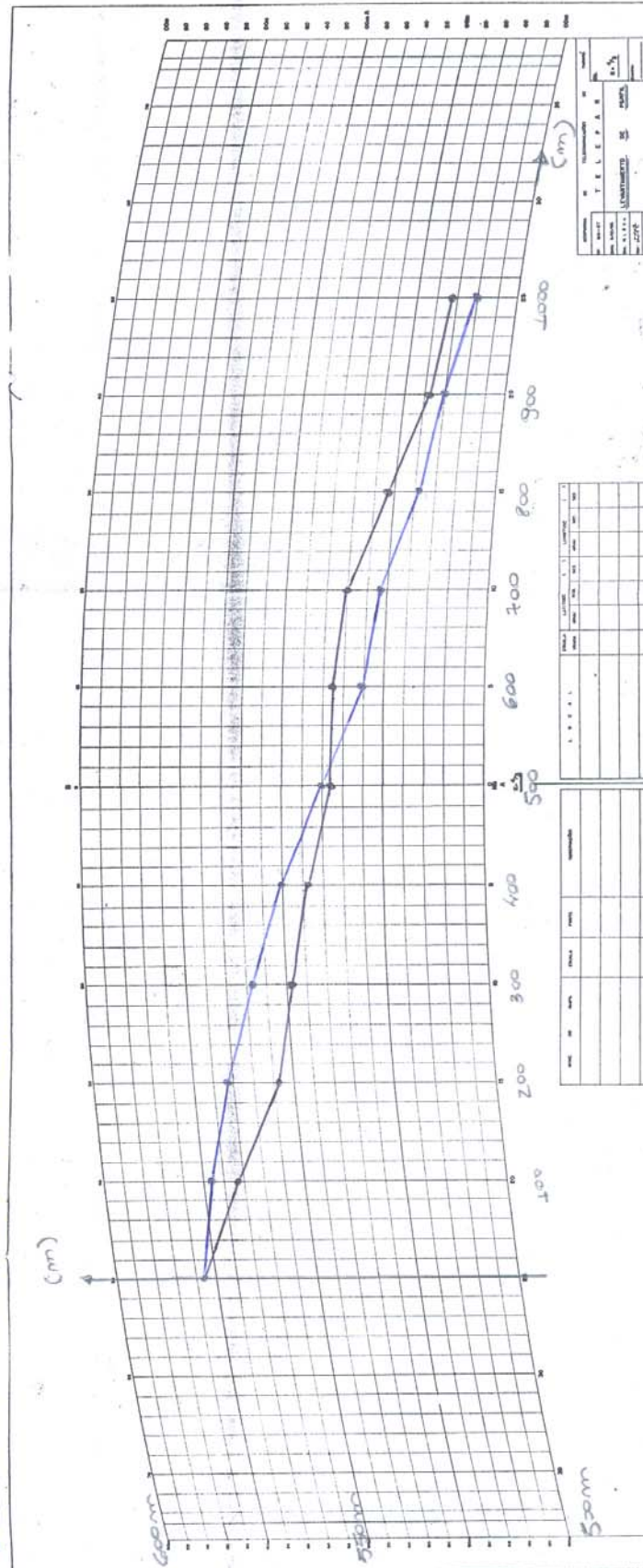
Perfil topográfico do Enlace A.

ANEXO 4

ENLACE B: BELLA VISTA AO PONTO B (COLUPIO DOS PROFESSORES)

• DISTÂNCIA DO ENLACE B: 7,2 km OU ± 152 m

• ESCALA DO PAISO: 10% de 100m



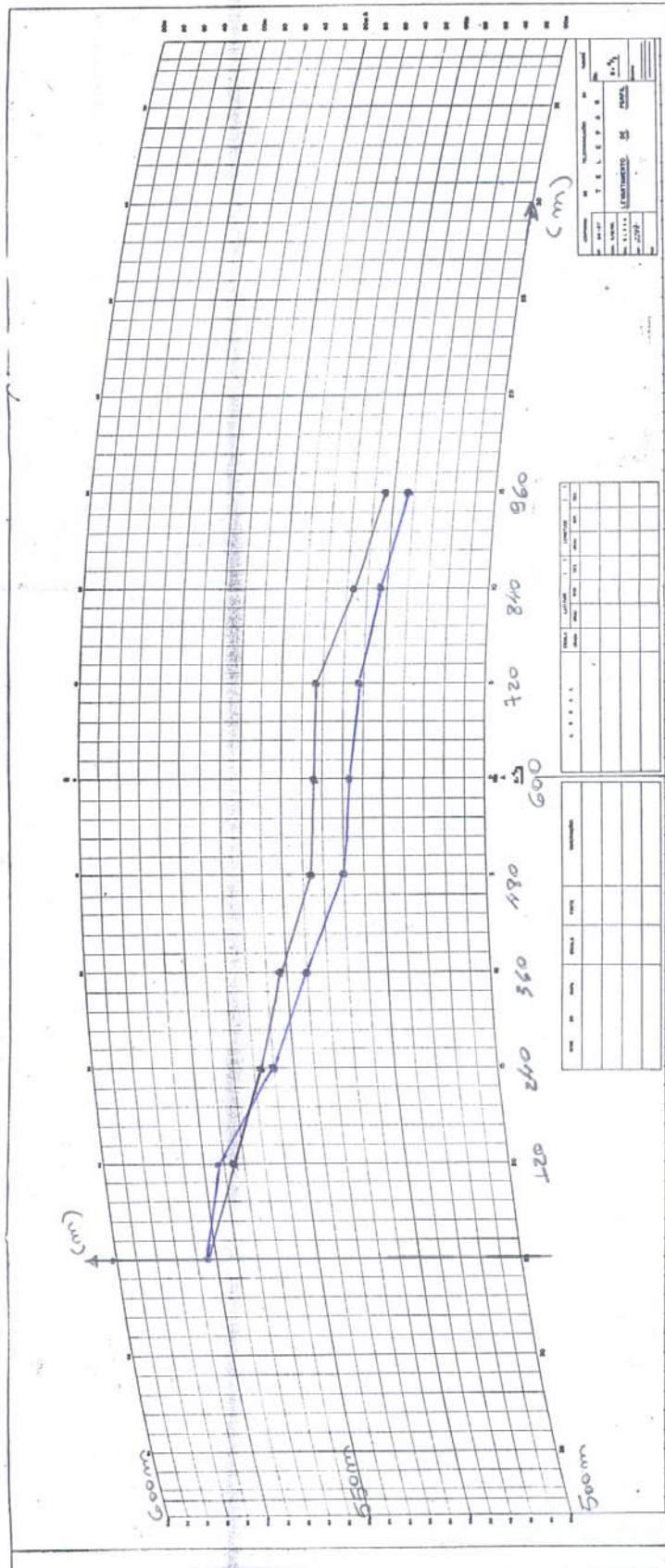
Perfil topográfico do Enlace B.

ANEXO 5

ENLACE C é IZELM T. 1.20m em 10% de declividade

• DISTÂNCIA DO ENLACE C: 8cm ou 1.280m

• ESCOLHA DO PASSO: 10% de declividade



Perfil topográfico do Enlace C.

ANEXO 6

Simulação em Matlab

```

% CLÁUDIO PEREIRA DA COSTA
% PROJETO DO REFLETOR PASSIVO - BITEC 2009
% PROGRAMA QUE SIMULA AS PERDAS NO ESPAÇO LIVRE
% CONSTANTES
clc();
p = -35; % Valor em dB medido no Campinense Clube
f = 503; % Frequencia em MHz
d = [0.1:0.1:1]; % Distancia em km

% EQUAÇÃO DE PERDAS NO ESPAÇO LIVRE

x = log10(f*d);
disp ('Valores das perdas no espaço livre em dB:');
L = -(32.44 + (20*x)) % Valor de Ganho em dB

% SINAL NO RECEPTOR
disp ('Valores de nível de sinal em um receptor no Centro do Conjunto dos
Professores (PONTO A):');
receptor = p + L + 10 % Valor de Ganho em dB

% GANHO DO REFLETOR PASSIVO
disp ('Valores de ganhos do refletor passivo:');
TV = -50; % Valor repassado pela TV ITARARE como nível satisfatório de
sinal em recepção domiciliar

G = -receptor + TV

% ÁREA EFETIVA DO REFLETOR PASSIVO
%disp ('Possíveis valores de áreas efetivas do refletor passivo:');
y = (G + 97.9);
w = 40*log10(f);

a2 = (y - w)/20; %Log de a2 efetivo
a_quadrado = 10.^(a2);%a2 em pés
a_lado_efetivo = (a_quadrado).^0.5;% lado em pés de a efetivo
m_lado_efetivo = (a_lado_efetivo).*0.3048; % Valor em metros de a efetivo

%disp ('Valores de lados das áreas efetivas do refletor passivo:');
area_efetiva = m_lado_efetivo.^2; % Valor em metros

%disp ('Valores das áreas reais do refletor passivo:');
%EXPRESSAO ONDE SE ALTERA O VALOR DO ANGULO 2alfa
area_real = area_efetiva./sin((30*pi)/180);%aumentando o valor da relação
no seno diminuiu-se o valor de 2alfa

disp ('Valores de lados das áreas efetivas do refletor passivo:');
lado_real = (area_real).^0.5

```

ANEXO 7

Cálculos para o refletor passivo

Dados

$$f = 503\text{MHz}$$

$$2\alpha = 120^\circ$$

$$d_1 = 5600\text{m}$$

$$d_2 = 800\text{m}$$

$$G_{\text{antena_receptora}} = 10\text{dB}$$

Valores medidos em campo

$$H_0 = 578\text{m} \quad h_0 = 20\text{m}$$

$$H_1 = 522\text{m} \quad h_1 = 69\text{m}$$

$$H_2 = 528\text{m} \quad h_2 = 10\text{m}$$

Ângulos de ajustes

$$\theta_1 = \text{tg}^{-1} \frac{(H_0 + h_0 + 0,0588 \cdot d_1^2) - (H_1 + h_1)}{1000 \cdot d_1}$$

$$\theta_1 = \text{tg}^{-1}(0,329228125)$$

$$\theta_1 = 18,22^\circ$$

Ângulo vertical entre a TV e o refletor.

$$\theta_2 = \text{tg}^{-1} \frac{(H_0 + h_0 + 0,0588 \cdot d_2^2) - (H_2 + h_2)}{1000 \cdot d_2}$$

$$\theta_2 = 2,6975^\circ$$

Ângulo vertical entre o refletor e o Conjunto dos Professores.

Atenuação no espaço-livre

$$L_{bf} = 32,44 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d)$$

TV – Refletor: d_1

$$L_{bf} = 32,44 + 68,99944$$

$$L_{bf} = 101,439dB$$

Refletor – Conjunto dos Professores: d_2

$$L_{bf} = 32,44 + 52,093$$

$$L_{bf} = 84,5375dB$$

Área do Refletor Passivo

$$G_p = -97,9 + 40 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(a^2)$$

$$59,54 = -97,9 + 40 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(a^2)$$

$$\log(a^2) = 2,4688$$

$$a^2 = 294,3499$$

$$a = 17,156 \text{ pés} \text{ ou } a = 17,156 \text{ pés} \cdot \frac{0,3048m}{\text{pés}} = 5,229m$$

$$a^2 = A^2 \cdot \sin \frac{1}{2} \cdot (180^\circ - 2 \cdot \alpha)$$

$$27,346 = A^2 \cdot \sin \frac{1}{2} \cdot (180^\circ - 120^\circ)$$

$$A^2 = 54,69m^2$$

$$l = 7,395m$$