



## Algumas Considerações Sobre Repetidores Passivos Em Microondas

Marcello Praça Gomes da Silva\*

### 1. INTRODUÇÃO

O uso de repetidores passivos *back-to-back* (costa-a-costa) é uma das soluções possíveis no caso de não haver possibilidade de se implementar a ligação direta entre as duas estações de rádio (devido à presença de uma ou mais obstruções no enlace). Outras possibilidades são os repetidores ativos, os refletores passivos e os difratores. Todas estas estruturas mudam a direção de um feixe de microondas.

Genericamente falando, a expressão “repetidor passivo” tanto significa “repetidor passivo *back-to-back*” quanto “placa refletora passiva retangular metálica”. Neste artigo eu adotarei única e exclusivamente o primeiro dos dois significados.

O cálculo de radioenlaces com passivos tipo costa-a-costa não é algo com-

plexo embora existam algumas questões que mereçam ser mais detalhadamente analisadas. São elas: o ganho do repetidor, o espaçamento vertical entre as antenas, as questões do desacoplamento em um passivo e do desempenho do enlace rádio. Este trabalho trata, portanto, de tais assuntos.

Os sistemas passivos possuem algumas vantagens inerentes, a saber: não necessário prover linhas de energia ou painéis solares para a alimentação do conjunto; as manutenções periódicas são muito raras ou mesmo inexistentes; pode nem mesmo haver estradas de acesso (vide o caso do Morro do Difrator no interior do Estado do Rio de Janeiro, às margens da rodovia BR 040). No entanto, o baixo ganho do repetidor limita em muito as ligações feitas com *back-to-backs*. Além disso, muitas vezes é necessário erigir estruturas de suporte ou torres de razoável altura para a fixação das antenas refletoras parabólicas ou das placas retangulares re-

\* Engenheiro – Nextel S.A.

fletoras metálicas (tal fato poderá vir a encarecer sobremaneira a instalação).

Tanto as empresas operadoras de serviços de telecomunicações como as empresas concessionárias de energia elétrica empregam muito os sistemas de repetição passiva (e ativa) para by-passar relevos problemáticos, tanto no campo como nas cidades.

## 2. GANHO NO REPETIDOR PASSIVO BACK-TO-BACK

O ganho linear de um dispositivo ativo é matematicamente dado por:

$$G = \frac{P_o}{P_i} \quad (1)$$

onde:  $P_o$  = Potência disponível na porta de saída do dispositivo;  
 $P_i$  = Potência entregue na porta de entrada do dispositivo.

O ganho de potência é uma grandeza adimensional (é uma razão entre duas grandezas que estão expressas nas mesmas unidades de medida; ou miliwatts ou watts por exemplo).

·Frequentemente usa-se o ganho expresso sob a forma logarítmica, ou seja:

$$G (dB) = 10 \log \frac{P_o}{P_i} \quad (2)$$

onde  $\log$  é o logaritmo de base dez (dito decimal, vulgar ou de Briggs).

Quando o ganho for dado tal qual a expressão número 2 ele será medido na unidade chamada *decibel* (igual à décima parte do *bel*). O decibel, a rigor, é apenas um nome especial que é dado para uma determinada razão adimensional logarítmica (10 vezes o logaritmo decimal de uma certa razão de potências).

Uma antena não é um dispositivo ativo e, estritamente falando, ela não possui ganho no sentido restrito dessa palavra. Quando falamos em ganho de uma antena estamos nos referindo à irradiação em determinadas direções em relação à irradiação de uma antena hipotética ideal (o chamado irradiador isotrópico). O ganho assim definido é medido na unidade *decibel em relação ao irradiador isotrópico* (abreviadamente *dB<sub>i</sub>*) ou ainda *neper em relação ao irradiador isotrópico* (abreviadamente *N<sub>pi</sub>*). Existem também outras referências para a irradiação de antenas tal como o dipólo de meia-onda (que gera o decibel em relação ao dipólo de meia-onda, ou *dB<sub>d</sub>*; e o neper em relação ao dipólo de meia-onda, ou *N<sub>pd</sub>*).

Sendo o repetidor passivo *back-to-back* composto basicamente por duas antenas podemos falar em ganho do repetidor como uma extensão do conceito de ganho de uma antena.

A expressão *ganho no repetidor passivo back-to-back*, para ter algum sentido, deverá ser igual a:

$$G_{ab} = G_{a1} + G_{a2} - A_{gbb} \quad (3)$$

onde:  $G_{BB}$  = Ganho de um repetidor passivo *back-to-back* (em dBi);

$G_{a1}$  = Ganho da primeira antena do repetidor (em dBi);

$G_{a2}$  = Ganho da segunda antena do repetidor (em dBi);

$A_{gbb}$  = Atenuação do guia de ondas (ou do cabo coaxial) que interliga as duas antenas do repetidor (em dB).

Notar que não necessariamente teremos os ganhos das duas antenas iguais entre si, ou seja, não necessariamente teremos  $G_{a1} = G_{a2}$ . Podemos ter uma antena parabólica de diâmetro 60 centímetros apontando para o *site* A e uma outra antena parabólica de diâmetro 1,20 metros apontando para o *site* B. Como os diâmetros das duas antenas são diferentes também serão diferentes os seus ganhos.

Muitas vezes o valor do somatório de  $G_{a1}$  com  $G_{a2}$  é muito maior do que valor da atenuação  $A_{gbb}$ . Se assim o for, nós poderemos até mesmo ignorar a parcela  $A_{gbb}$  e escrever o ganho  $G_{bb}$  como:

$$G_{bb} = G_{a1} + G_{a2} \quad (4)$$

Se expressarmos os ganhos  $G_{a1}$  e  $G_{a2}$  (e conseqüentemente  $G_{bb}$ ) em  $N\pi$  bem como a acentuação do guia  $A_{gbb}$  em  $N_p$  a expressão 3 não irá se alterar.

O nível de recepção  $L_{RXb}$  no *site* B é então dado por:

$$L_{RXb} = P_{TXa} + G_1 + G_{bb} + G_2 - L_{fs1} - L_{fs2} - A_1 - A_2 \quad (5)$$

onde:  $L_{RXb}$  = Nível de recepção no *site* B (em dBm);

$P_{TXa}$  = Potência de transmissão do *site* A (em dBm);

$G_1$  = Ganho de transmissão da antena do *site* A (em dBi);

$G_{bb}$  = Ganho do repetidor passivo *back-to-back* (em dBi);

$G_2$  = Ganho de recepção da antena do *site* B (em dBi);

$L_{fs1}$  = Atenuação de espaço livre (*free-space loss*) no percurso do *site* A até o repetidor passivo (em dB);

$L_{fs2}$  = Atenuação de espaço livre no percurso do repetidor passivo até o *site* B (em dB);

$A_1$  = Atenuação do *branching* no *site* A (em dB);

$A_2$  = Atenuação do *branching* no *site* B (em dB).

Este cálculo é válido quando o repetidor passivo se encontra localizado no campo distante (*far-field*) das duas antenas terminais.

A palavra *branching* (circuito de derivação em português) foi aqui usada em sentido amplo, significando todos aqueles circuitos e dispositivos que introduzem alguma atenuação entre a porta de saída do equipamento rádio e a porta de entrada da antena (isoladores, *pads*, guias de onda, circuladores, filtros, transições, atenuadores ajustáveis ou variáveis, *twists*, cavidades ressonantes, junções, *bends*, acopladores direcionais).

### 3. ESPAÇAMENTO VERTICAL ENTRE ANTENAS EM UM REPETIDOR PASSIVO

Foi dito, certa vez, que devia haver um critério para instalar antenas parabólicas em repetidores passivos *back-to-back* em termos de espaçamento vertical entre elas (ou entre os centros de ambas ou entre o extremo superior da antena inferior e o extremo inferior da antena superior).

Propôs-se, na época, que esse espaçamento fosse, no mínimo, igual a cinco metros (sem se explicitar a qual dos dois espaçamentos anteriores se estava falando).

A idéia era garantir um desacoplamento angular entre as duas antenas do repetidor (uma vez que um repetidor passivo *back-to-back* opera na mesma frequência; recebe em  $f_1$  na antena *A* e transmite em  $f_1$  na antena *B*; recebe em  $f_2$  na antena *B* e transmite em  $f_2$  na antena *A*).

Se fôssemos aplicar esse critério de espaçamento não se instalaria nunca nenhum repetidor passivo *back-to-back*. Vejamos pois o seguinte exemplo de exequibilidade física de instalação.

Suponha então um repetidor passivo *back-to-back* usando duas antenas parabólicas de 1,2 metros de diâmetro cada uma. Para acatarmos tal critério seria necessário instalar sobre o terraço de um prédio (que é muitas vezes residencial) um mastro de cerca de 8,0 metros de altura.

Os 8,0 metros foram assim estimados: 1,70 m desde a base até o extremo inferior da antena mais baixa, semi-diâmetro (= 0,60 m), 5 m de espaçamento vertical entre os centros das duas antenas, semi-diâmetro (= 0,60 m) e, por fim, 0,10 m até o término do mastro.

Se o espaçamento vertical fosse feito entre o extremo superior da antena mais baixa e o extremo inferior da antena mais alta, esse mastro ficaria 1,20 metros mais alto, levando para, pelo menos, 9,20 m a altura do mastro total.

Isso equivaleria a uma altura de uma casa de 3 andares (supondo 3 metros por andar) para se instalar um simples repetidor passivo *back-to-back* com antenas de diâmetro 1,2 metros cada uma.

Bastaria uma simples ida ao campo para que fossem vistas algumas dezenas de repetidores passivos *back-to-back* onde os espaçamentos verticais estão muito e muito aquém do proposto (e funcionam muito bem, diga-se de passagem).

Isto é válido não apenas para os *back-to-back* operando acima de 10 GHz mas, inclusive, para aqueles que estão operando na banda de 900 MHz (o *UHF* baixo). Nesse último

caso, as antenas parabólicas vazadas costumam ter um diâmetro mínimo de 2,0 metros (como o modelo nacional *PV2-890*) o que torna a questão do mastro muito mais problemática do que nas bandas de frequência mais altas (15, 18, 23 ou 38 GHz onde o diâmetro máximo quase nunca supera os 1,8 metros ou, no máximo, 2,4 metros).

Vamos pois a um exemplo prático. Para a frequência de 15 GHz, supondo a troposfera como se ela fosse o vácuo, teremos um comprimento de onda valendo  $\lambda_0 = 2$  cm.

Se nós espaçarmos as bordas das duas antenas parabólicas de um valor igual a  $20 \lambda_0$  (ou seja, 20 comprimentos de onda no vácuo), esse espaçamento seria de apenas 40 cm (ou seja, 12,5 vezes menor do que o tal espaçamento proposto de 5 metros).

Nas mesmas condições do exercício anterior ( $\phi = 1,20$  m) nós teríamos um mastro vertical de altura igual a 4,60 m (e não 9,20 m). Isto nos dá uma economia de 4,60 m de mastro.

Há de se fazer, sim, é um desacoplamento angular entre as duas antenas do repetidor passivo (acima de +/- 110° costuma-se usar o repetidor passivo tipo *back-to-back*).

#### 4. DESACOPLAMENTO EM UM PASSIVO

Se é projetado um repetidor passivo *back-to-back* é porque não existe visada ótica entre os dois extremos e nem é possível (ou não vale a pena economicamente falando) aumentar as alturas das torres onde as antenas dos extremos estão fixadas.

Desta forma, e notadamente para as bandas de frequência mais elevadas (acima de 10 GHz), a atenuação suplementar por difração e por espalhamento, no enlace direto, será suficientemente alta para que não haja qualquer sinal direto perceptível.

Se assim não o fosse não se haveria de se gastar tempo e dinheiro para a implantação de um ponto repetidor passivo *back-to-back*.

O fator *Adiff* (que representa a atenuação suplementar por espalhamento e por difração, em decibéis) é de valor absoluto muito elevado para o enlace direto do *site A* ao *site B* (sem passar pelo *site* repetidor passivo *C*).

#### 5. DESEMPENHO DO RADIOENLACE

Dizer que o desempenho de um lance de rádio que faça uso de um repetidor passivo costa-a-costa melhora por se usar o repetidor é algo completamente desprovido de sentido.

Se qualquer enlace, que não usasse repetidor passivo *back-to-back*, fosse abortado pelo engenheiro projetista por questões de desempenho, seria *MAIS AINDA* se viesse a usar o repetidor.

Um enlace rádio com repetidor passivo pode não ser viável em função do baixo nível de recepção (pois as duas atenuações de espaço livre ocasionam perdas muito elevadas que, nem sempre, os ganhos das duas antenas do passivo conseguem contrabalançar a contento).

Lembrar que a eficiência percentual (ou rendimento percentual  $n$ ) típica de uma antena parabólica fica em torno de 55% (cinquenta e cinco por cento).

A atenuação de espaço livre total  $L_{fst}$  em um lance de rádio que use um repetidor passivo é maior do que a atenuação de espaço livre em uma ligação direta entre as mesmas estações terminais mantidas as mesmas condições. Mesmo que as duas direções ( $A-C$  e  $C-B$ ) fossem coincidentes, a perda de espaço livre com repetidor passivo ainda seria maior do que a perda de espaço livre em uma ligação direta. É possível mostrar isso facilmente com um exemplo numérico simples. Ei-lo então.

Seja um radioenlace cujo comprimento físico é de 30 quilômetros. Para, digamos uma frequência central de 18 gigahertz a atenuação de espaço livre  $L_{fs}$  será dada por:

$$L_{fs} = 92,4 + 20 \log [d \times f] \quad (6)$$

onde  $\log$  é o logaritmo de base dez,  $d$  é a distância em quilômetros e  $f$  é a frequência em gigahertz. Substituindo os respectivos valores numéricos temos:

$$L_{fs} = 92,4 + 20 \log [30 \times 18]$$

$$L_{fs} = 147 \text{ decibéis}$$

No caso de haver um repetidor passivo costa-a-costa intermediário (a 10 quilômetros da estação terminal  $A$  e a 20 quilômetros da estação terminal  $B$ ) a atenuação de espaço livre total será dada pela soma das duas atenuações de espaço livre  $A-C$  e  $C-B$ . Teremos então:

$$L_{fst} = L_{fs \ A-C} + L_{fs \ C-B} \quad (7)$$

$$L_{fs \ A-C} = 92,4 + 20 \log [10 \times 18] = 137,5 \text{ decibéis}$$

$$L_{fs \ C-B} = 92,4 + 20 \log [20 \times 18] = 143,5 \text{ decibéis}$$

$$L_{fst} = 137,5 + 143,5 = 281 \text{ decibéis}$$

Conforme podemos ver, a atenuação total de espaço livre é muito maior quando usamos um repetidor intermediário do que quando se faz um radioenlace direto entre as estações terminais. A diferença, nesse caso, foi simplesmente de 134 decibéis a mais (um grande aumento).

A tabela a seguir ilustra essa composição de atenuações de espaço livre em radioenlaces com e sem repetidor passivo costa-a-costa.

	Atenuações de Espaço Livre 1
Radioenlace A-B COM REPETIDOR Passivo	$L_{fst\ 1} = L_{fs\ A-C} + L_{fs\ C-B}$
Radioenlace A-B Direto	$L_{fst\ 2} = L_{fs\ A-B}$

$$L_{fst\ 1} > L_{fst\ 2}$$

onde *A* e *B* são as estações terminais e *C* é a estação repetidora passiva costa-a-costa intermediária.

$L_{fs\ A-C}$  é a atenuação de espaço livre no percurso desde a estação terminal *A* até a estação repetidora passiva *C*.

$L_{fs\ C-B}$  é a atenuação de espaço livre no percurso desde a estação repetidora passiva *C* até a estação terminal *B*.

$L_{fs\ A-B}$  é a atenuação de espaço livre da estação terminal *A* até a estação terminal *B*.

$L_{fst}$  é a atenuação total de espaço livre entre as estações terminais *A* e *B* (índice 1 no caso de repetidor passivo costa-a-costa e índice 2 no caso de enlace rádio direto).

*OS REPETIDORES PASSIVOS BACK-TO-BACK SERVEM TÃO SOMENTE PARA BY-PASSAR OBSTÁCULOS, NATURAIS OU ARTIFICIAIS, NADA TENDO A VER COM A MELHORIA DO DESEMPENHO DE UM RADIOENLACE ANALÓGICO OU DIGITAL.*

Em um repetidor passivo *back-to-back* a atenuação total de espaço livre  $L_{fs}$  (em, decibéis) é diretamente proporcional ao logaritmo do produto das duas distâncias  $d_1$  e  $d_2$ , senão vejamos:

$$L_{fst\ 1} = 92,4 + 20 \log [f d_1]$$

$$L_{fst\ 2} = 92,4 + 20 \log [f d_2]$$

$$L_{fs} = L_{fst\ 1} + L_{fst\ 2}$$

$$L_{fs} = 184,8 + 20 [\log (f d_1) + \log (f d_2)]$$

Uma propriedade dos logaritmos nos diz que  $\log (AB) = \log (A) + \log (B)$  e, dessa forma, temos:

$$L_{fs} = 184,8 + 20 \log [d_1 d_2 f^2] \tag{8}$$

Se as duas distâncias forem idênticas ( $d_1 = d_2 = d$ ) teremos:

$$L_{fs} = 184,8 + 20 \log [df]^2 \quad (9)$$

ou ainda,

$$L_{fs} = 184,8 + 40 \log [df] \quad (10)$$

onde todos *logs* são decimais, todas distâncias são dadas em quilômetros e a frequência *f* é dada em gigahertz.

A expressão genérica 8 nos mostra como a atenuação de espaço livre  $L_{fs}$  é elevada para um repetidor passivo costa-a-costa (basta ver tal equação é diretamente proporcional ao logaritmo do quadrado da frequência pelo produto das duas distâncias  $d_1$  e  $d_2$ ).

Às vezes as distâncias envolvidas são tais que é possível se usar dois repetidores passivos costa-a-costa para se by-passar obstáculos (ambos os repetidores situados nos campos distantes das antenas). Nesse caso, existem seis antenas no total (as duas terminais, duas no primeiro repetidor e duas no segundo repetidor).

O ganho composto dos dois repetidores será dado por:

$$G_{bb} = G_{a1} + G_{a2} + G_{a3} + G_{a4} + A_{gbb1} + A_{gbb2} \quad (11)$$

onde:  $G_{bb}$  = Ganho do repetidor passivo costa-a-costa composto (em dBi);

$G_{a1}$  = Ganho da primeira antena do primeiro repetidor (em dBi);

$G_{a2}$  = Ganho da segunda antena do primeiro repetidor (em dBi);

$G_{a3}$  = Ganho da primeira antena do segundo repetidor (em dBi);

$G_{a4}$  = Ganho da segunda antena do segundo repetidor (em dBi);

$A_{gbb1}$  = Atenuação do guia de ondas (ou do cabo coaxial) que interliga as duas antenas do primeiro repetidor (em dB);

$A_{gbb2}$  = Atenuação do guia de ondas (ou do cabo coaxial) que interliga as duas antenas do segundo repetidor (em dB).

Não necessariamente os ganhos das quatro antenas dos dois repetidores serão iguais entre si.

A atenuação total de espaço livre  $L_{fs}$  nesse caso, será dada por:

$$L_{fs1} = 92,4 + 20 \log [fd_1]$$



$$L_{fs2} = 92,4 + 20 \log [f d_2]$$

$$L_{fs3} = 92,4 + 20 \log [f d_3]$$

$$L_{fs} = L_{fs1} + L_{fs2} + L_{fs3}$$

$$L_{fs} = 277,2 + 20 [\log (f d_1) + \log (f d_2) + \log (f d_3)]$$

$$L_{fs} = 277,2 + 20 \log [d_1 d_2 d_3 f^3] \quad (12)$$

Na hipótese (remotíssima, diga-se de passagem) das 3 distâncias serem iguais entre si (ou seja,  $d_1 = d_2 = d_3 = d$ ) nós poderíamos escrever:

$$L_{fs} = 277,2 + 20 \log [df]^3 \quad (13)$$

ou ainda,

$$L_{fs} = 277,2 + 60 \log [df] \quad (14)$$

onde todos os *logs* são decimais, todas as distancias são dadas em quilômetros e a frequência *f* é dada em gigahertz.

Nós podemos generalizar as fórmulas 12 e 14 para o caso hipotético de *n* lances, onde teríamos duas estações terminais *A* e *B* e (*n*-1) estações repetidoras passivas costa-a-costa intermediárias (na prática não pode haver mais do que duas dessas estações passivas intermediárias porque as perdas associadas seriam astronômicas, o que inviabilizaria totalmente a ligação via rádio).

Portanto, no caso de *n* ( $n \geq 2$ ) lances teríamos:

(*n*-1) repetidores passivos costa-a-costa;

2(*n*-1) antenas nos repetidores costa-a-costa;

2*n* antenas no total.

A expressão para a atenuação total de espaço livre  $L_{fs}$  é dada por (ao se generalizar a expressão número 12):

$$L_{fs} = n \times 92,4 + 20 \log [d_1 d_2 d_3 \dots d_n f^n] \quad (15)$$

No caso das  $n$  distâncias serem iguais entre si ( $d_1 = d_2 = \dots = d_n = d$ ) teríamos:

$$L_{fs} = n \times 92,4 + n \times 20 \log [df]$$

evidenciando-se  $n$  temos,

$$L_{fs} = n [92,4 + 20 \log (df)] \quad (16)$$

o que indica, como já era de se esperar, uma atenuação  $n$  vezes maior do que a atenuação de um lance único de comprimento físico  $d$  quilômetros operando na frequência de  $f$  gigahertz.