

# Ondas: Sua Natureza e Características

Parte II — Fim

## Ondas Estacionárias: Como Evitá-las e Medi-las Corretamente

VINICIUS PARIZZI, PY4VK \*

*Na Parte I vimos o que são ondas eletromagnéticas, através de analogias com as ondas de deformação produzidas em uma corda presa por uma das extremidades. Analisamos também as ondas estacionárias e as parcialmente refletidas.*

*Nesta Parte II (última) iremos abordar os sistemas de acoplamento linha-antena, a r.o.e. e a TVI, e também como medir corretamente a r.o.e.*

### SISTEMAS DE ACOPLAMENTO LINHA-ANTENA

Vamos, em primeiro lugar, tecer algumas considerações sobre o cabo coaxial, que constitui uma linha desequilibrada, ou assimétrica. Quando ele conduz uma corrente, do transmissor para a antena, a corrente no condutor interno é de sentido contrário à da malha, na seção considerada. Além disso, o campo produzido pela corrente no condutor interno "chama" a corrente da malha para a sua superfície interna, não havendo, pois, corrente na superfície externa. E, como os campos que resultam de correntes iguais e contrárias são também iguais e contrários, é nulo o campo eletromagnético ao redor do cabo. Então, podemos considerar a malha como se ela fosse composta de dois condutores distintos: um correspondente à sua parte interna, que transporta a corrente da linha, e outro, à sua parte externa, que não transporta corrente nenhuma (Figs. 8 e 9). Mas, o que irá acontecer na ligação do cabo com a antena? A parte externa da malha vai funcionar como se fosse também uma antena, pois ela tem sempre alguma resistência que a isola do potencial zero do transmissor. Ela vai, pois, receber parte da corrente que deveria ser destinada à antena propriamente dita. Fica, assim, desequilibrado o cabo, pois o campo produzido por esta corrente não é anulado, e se irradia. Fica também desequilibrada a antena; no caso do dipolo, por exemplo, um dos lados recebe mais corrente do que o outro (Fig. 10). Deve-se, então, equilibrar o cabo, utilizando-se dispositivos cuja finalidade é evitar que correntes destinadas à antena circulem pela superfície externa da malha.

Nas antenas quadras, o efeito do desequilíbrio é muito menos pronunciado do que no dipolo, porque a antena fecha o circuito entre dois pontos de elevada intensidade de corrente (extremidade da malha e extremidade do condutor interno do cabo; na sua ligação com a antena), e, desta forma, a corrente é "chamada" a circular pela antena. Esta é uma das razões do elevado rendimento das antenas quadras.

### CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE ACOPLAMENTO

Os sistemas de acoplamento, quanto à sua finalidade, podem se classificar entre os seguintes tipos:

1) Os que promovem o casamento de impedâncias entre a linha de transmissão e a antena.

2) Os que compensam o desequilíbrio de uma linha assimétrica (cabo coaxial). Neste caso, em alguns tipos, o sistema evita que parte da corrente, ao deixar a superfície interna da malha para alimentar a antena, seja desviada para a sua superfície externa; em outros, o sistema anula o campo criado por esta corrente.

3) Os que evitam o desequilíbrio de uma antena simétrica, que seria provocado pela sua conexão a uma linha assimétrica não compensada. Neste caso, o desvio de correntes, mencionado acima, não desequilibra a antena, embora continue existindo este desvio.

O sistema "T match" é da classe 1. É aplicado quando se acopla uma linha simétrica a uma antena simétrica.

O "gama match" é, simultaneamente, das classes 1 e 3, sendo aplicado em linhas assimétricas, quando acopladas a antenas simétricas.

Os baluns bobinados, de relação de impedâncias 1:1, são da classe 3; eles não reduzem a r.o.e., podendo até aumentá-la se a impedância do primário do balun diferir muito da impedância da linha.

Os baluns de relação de impedância variável, que são fabricados normalmente nos E.U.A., são, simultaneamente, da classe 1 e 3; também no mesmo caso está o balun de relação 4:1, que casa um dipolo dobrado de  $300 \Omega$  com um coaxial de  $75 \Omega$ .

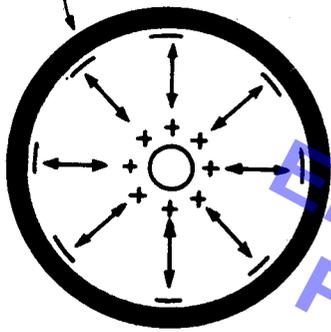
É da classe 2 o "detuning sleeve", ou "camisa", descrito na página 115 do "ARRL Antenna Book", edição de 1977.

Porém, um dos mais simples e eficientes sistemas da classe 2 consiste em enrolar o cabo, antes de sua ligação com a antena, em forma de uma bobina, dando-lhe dez voltas, com diâmetro entre 10 e 15 cm (Foto I). Amarram-se as voltas com fita isolante ou cordão resistente ao tempo (cordão de pescador), como vemos na Fig. 11. A superfície externa da malha do cabo, na bobina assim formada, funciona como indutância e, portanto,

(\*) Engenheiro civil formado pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; ex-professor-assistente de Física II, Eletricidade e Óptica da Escola de Engenharia da U.F.M.G. e do Instituto Politécnico da Universidade Católica de Minas Gerais (PUC).

Não há carga na superfície externa da malha

FIG. 8 — Corte transversal de um cabo coaxial. As cargas contrárias se atraem.



como reator de R.F. para correntes que, na ligação do cabo com a antena, poderiam se encaminhar para a superfície externa da malha. O enrolamento não constitui uma indutância para a corrente transportada no interior do cabo, porque a superfície externa da malha funciona como blindagem para os campos magnéticos daquelas correntes, não havendo nesse caso interação entre as espiras. Devemos nos lembrar de que a malha funciona como se fosse constituída de dois condutores concêntricos distintos, como explicado anteriormente em relação às correntes transportadas no interior do cabo.

Os sistemas da classe 2 são de grande utilidade no combate à TVI, como se explica mais adiante.

Não havendo corrente na superfície externa da malha, não haverá campo eletromagnético externo, e o cabo se comporta como se fosse uma linha simétrica (ou equilibrada).

**Linhas de Quarto de Onda:** As linhas de comprimento igual a um quarto de onda multiplicado pelo fator de velocidade (0,66) podem ser utilizadas para o casamento de impedâncias, classificando-se, pois, no tipo 1.

A impedância que deve ter o trecho de linha de quarto de onda, para casar um cabo de impedância  $Z_s$  com uma antena de impedância  $Z_r$ , deve ser igual a:  $Z_0 = \sqrt{Z_s Z_r}$ .

Assim, por exemplo, para se casar um cabo de  $52 \Omega$  com uma antena de 100 a  $120 \Omega$ , deve-se usar um coaxial de comprimento de quarto de onda de



FOTO 1 — Detalhe de um reator de R.F. formado com o cabo coaxial, imediatamente antes da conexão aos quadros de 15 e 20 metros em uma antena quadrada cúbica de três elementos montada na residência do Autor.

impedância igual a:  $Z_0 = \sqrt{52 \times 100} = 72 \Omega$ . Usa-se, pois, um pedaço de coaxial de  $75 \Omega$  (Fig. 12).

O cálculo do comprimento do quarto de onda para uma antena de 20 m ( $f = 14,2 \text{ MHz}$ ) é feito pela fórmula 4:

$$\lambda/4 = V/4f = 300/(4 \times 14,2) = 5,28 \text{ m (no ar ou vácuo)}$$

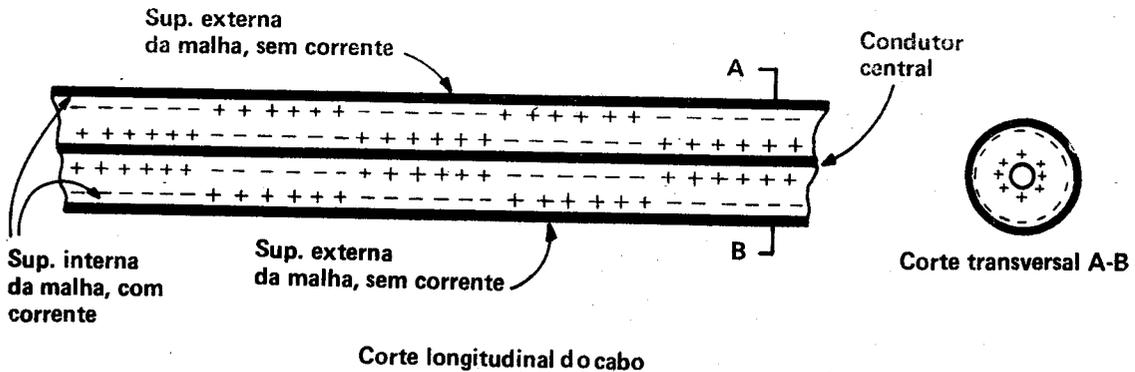


FIG. 9 — Distribuição das correntes em um cabo coaxial em um dado instante.

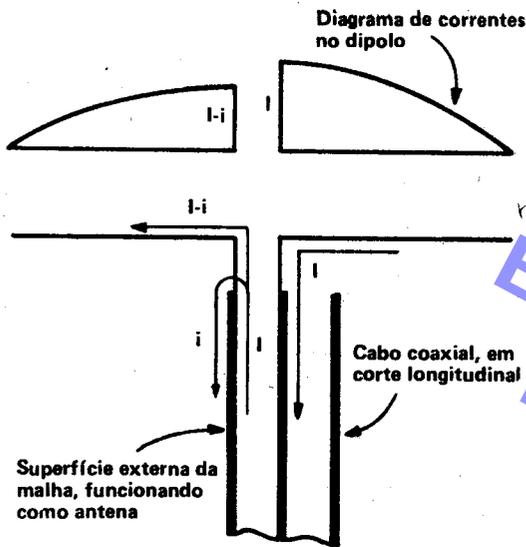


FIG. 10 — O lado esquerdo do dipolo fica desalinhado da corrente I, que é desviada para a superfície externa da malha, na ligação do cabo com a antena.

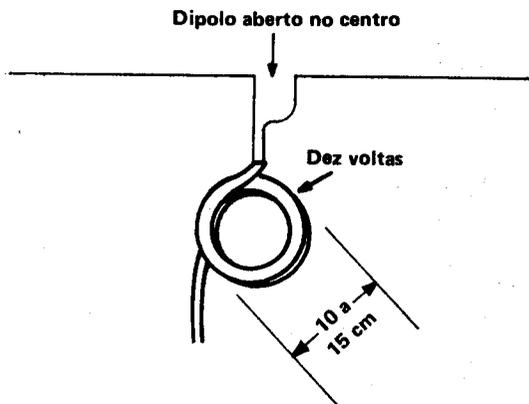


FIG. 11 — Formação de um reator de R.F. utilizando-se o próprio cabo coaxial.

Este valor, multiplicando por 0,66 (fator de velocidade), dá 3,50 m. Para a frequência de 21.200 kHz, o comprimento L da seção de 75 Ω seria:

$$\lambda/4 = 300 / (4 \times 21,2) = 3,55 \text{ m, no ar}$$

$$L = 3,55 \times 0,66 = 2,34 \text{ m}$$

É preciso lembrar que as transformações de impedância com cabo de  $\lambda/4$  são válidas somente para antena de faixa única.

Deve-se usar dois tipos de acoplamento em série, em alguns casos. Assim, por exemplo, para se casar um coaxial com uma dipolo ou cúbica, usa-se o reator seguido do "T match."

Porém, de acordo com nossa experiência, quando a antena tem uma impedância aproximadamente igual à do cabo utilizado, o melhor é ligá-la diretamente, fazendo-se antes na ponta do cabo o enrolamento para o reator descrito anteriormente, ou, então, se a antena tiver uma impedância de 100 a 120 ohms, utilizar um cabo de 52 Ω, terminado em

trecho de quarto de onda construído com cabo de 75 Ω, e enrolando-se a ponta para obter o reator, antes da ligação com a antena.

Se a antena tiver a impedância de 30 a 40 Ω (geralmente yagis de 2 e 3 elementos), usa-se o cabo de 75 Ω, terminado em quarto de onda construído com cabo de 52 Ω. Enrola-se a ponta para formar o reator e liga-se diretamente ao dipolo.

Em todas as ligações diretas, evidentemente, o dipolo deve ser bipartido, e a cúbica deve ter o quadro aberto (veja Figs. 11 e 13).

### R.O.E. E TVI

A r.o.e. em um cabo não influi na TVI, pois, como já afirmamos anteriormente com relação à corrente transportada do transmissor à antena, o campo eletromagnético resultante no exterior do cabo é nulo.

Os acoplamentos de classe 2, embora não reduzindo a r.o.e., poderão reduzir a TVI, porque eles, ao equilibrarem o cabo, anulam os campos eletromagnéticos criados por correntes na superfície externa da malha, campos estes que, irradiados nas proximidades de antenas de TV ou de equipamentos sonoros, seriam captados por eles. Este, porém, é um fato que nada tem a ver com as estacionárias, as quais não contribuem para o estabelecimento de campos de radiofrequência em torno da linha de transmissão (veja "ARRL Antenna Book", pág. 105, "Line Radiation").

Queremos deixar claro que poderão circular na parte externa da malha correntes que não são provenientes do desvio das transportadas pelo cabo, mas sim induzidas na malha pela R.F. irradiada pela antena. Estas correntes nada têm a ver com a r.o.e., e existirão tanto nas linhas desequilibradas (cabos) quanto nas equilibradas (condutores paralelos, por exemplo), gerando também campos de R.F. que podem ser captados pelas antenas de TV.

### COMO MEDIR CORRETAMENTE A R.O.E.

O valor exato da r.o.e. é o medido junto à antena, porque, à medida que a onda refletida vai se afastando, ela se enfraquece, em virtude da resistência que a linha (cabo) oferece à sua passagem. Mas, para os comprimentos usuais de cabo, isso não precisa ser levado em consideração, e podemos fazer a medição com o instrumento colocado no "shack". Assim, por exemplo, na faixa de 20 metros, uma leitura de 2:1 na ponta de um cabo de 40 metros de comprimento daria, junto à antena, uma leitura de 2,5:1. A diferença é desprezível.

Há uma divergência entre os autores com relação a uma possível variação na leitura da r.o.e. ao se variar o comprimento do cabo entre o medidor e a antena. No "Antenna Handbook", de William I. Orr e Stuart D. Cowan, pág. 56 ("Using the SWR Meter"), os autores afirmam que "o comprimento da linha entre o instrumento e a antena não tem qualquer importância, como também entre o instrumento e o transmissor". Procuramos verificar experimentalmente este fato, nas faixas de 20 e 15 metros, utilizando diversos comprimentos de cabo, variáveis de 25 em 25 centímetros, abrangendo uma diferença total em relação ao comprimento original de até meia onda.

Com a finalidade de comparar medidas e reduzir as probabilidades de erro, utilizamos dois me-



FIG. 12 — Como utilizar um cabo de comprimento igual a  $\frac{\lambda}{4} \times 0,66$  como casador de impedâncias.

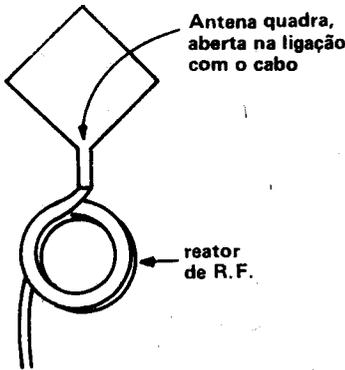


FIG. 13 — Ligação do cabo e reator de R.F. com uma antena quadra cúbica.

didores em série, sendo um de induzido em bobina toroidal, e outro de induzidos em condutores paralelos. A diferença obtida entre os valores máximo e mínimo da r.o.e. foi de 20% no de induzidos paralelos, e 10% no de induzidos em bobina, com r.o.e. de 4:1, razão porque acreditamos não ser necessário se preocupar com o comprimento do cabo no que se refere à medida da estacionária no "shack".

De qualquer forma, devemos ter em mente, ao se obter uma redução na leitura da r.o.e. depois de se cortar ou aumentar o comprimento do cabo, que não houve redução real do seu valor, apenas obtivemos uma medida imprópria, ou divergente, em virtude de erros ou falta de precisão do aparelho.

A medição da estacionária antes da transmissão é sempre recomendável, porque uma diferença muito grande em relação ao valor que costumamos ler indica que algo de anormal está ocorrendo, podendo mesmo ser a chave de onda fora da faixa que estamos sintonizando. Conexões oxidadas, fios partidos, acoplamentos desregulados por ação do vento, antena rompida, elementos de sustentação quebrados, etc., poderão provocar a elevação da r.o.e. E, se ela estiver acima do recomendado pelo fabricante do transmissor, deve-se corrigi-la, a fim de se evitar um regime anormal de trabalho do estágio final do transmissor.

Para a construção de um medidor de estacionárias, pode-se recorrer aos artigos publicados em

Eletrônica Popular de janeiro/fevereiro e julho/agosto de 1977, de autoria, respectivamente, de PY7AOR e PY2PH.

**Bibliografia:** Resnick-Halliday, Física, Partes 1 e 2; "Electronic and Radio Engineering", F. E. Terman; "Mediciones Radio Eléctricas", F. V. Kushnir; "Transmission Lines and Networks", Johnson; "Antenna Handbook", Orr and Cowan; "ARRL Antenna Book"; Redes Eléctricas, Hugh H. Skilling.

o o o — o — (OR 1612)

**ESCRITÓRIO  
DE TELECOMUNICAÇÕES**

**Eng.º Jorge Pequeno Vieira**

●

**PLANEJAMENTO  
E ACESSORIA TÉCNICA**

**RADIODIFUSÃO: Editais — Concorrência — Estudos Técnicos — Projetos**

●

**RETRANSMISSÃO DE TV**

●

**TELECOMUNICAÇÕES EM GERAL: Serviço Limitado Privado — Móvel Marítimo — Radiochamada — Radiotáxi**

●

**SEDE: BRASÍLIA**

**Conjunto Nacional — 6.º Andar  
Sala 6.078 — Tel.: (061) 224-0225**