

# O comprimento do cabo coaxial. Folclore versus técnica.

Por PY4ZBZ 05-07-2005 / 27-02-2007

**No mundo dos radioamadores, existem muitas lendas, erros e falsas afirmações a respeito do comprimento do cabo coaxial (ou linha bifilar) usado para interligar a antena ao equipamento transceptor.**

**Tentarei explicar, (baseado na [bibliografia](#) relacionada abaixo) o que realmente acontece e porque há tanta confusão...**

## Definições usadas nesse texto:

**L = comprimento elétrico** do cabo ou linha, em comprimentos de onda. (cabo ou linha: sinônimos)

Para transformar comprimento elétrico **L** (dado em comprimentos de onda) , em comprimento físico do cabo, basta multiplicar **L** pelo comprimento de onda no ar e pelo fator de velocidade do cabo. O **fator de velocidade** do cabo depende exclusivamente da constante dielétrica do isolante usado para separar o condutor interno da blindagem, e corresponde a razão entre a velocidade com a qual a energia elétrica circula nesse cabo e a velocidade da luz no ar. Fatores de velocidade mais comuns para cabos coaxiais são: 0,66 em cabos com polietileno, e 0,82 em cabos com polietileno expandido ou celular. O comprimento de onda no ar, em metros, é **300/F**, onde **F** é a frequência em MHz. A constante 300 nada mais é que a velocidade da luz no ar em Megametros por segundos. Portanto **75/F** fornece o comprimento de 1/4 de onda no ar.

**Zo = impedância característica** do cabo ou da linha, que na pratica sempre tem um valor puramente resistivo **Zo=Ro** (parte reativa **jX=0** ou desprezível).

Para aplicações gerais em RF de potencia, o valor padronizado mais usado para impedância característica de cabo coaxiais é 50 ohms. Esse valor não foi escolhido ao acaso, mas como sendo o melhor compromisso entro o valor para o qual o cabo suporta a maior potencia (o que acontece com Zo=30 ohms) e o valor para o qual o cabo apresenta a menor atenuação (o que acontece com Zo=77 ohms), para um mesmo diâmetro interno da blindagem do cabo coaxial.

(Por exemplo, cabos de 75 ohms são muito usados em aplicações da baixa potencia e grandes comprimentos, onde é importante ter pouca atenuação, como em TV a cabo ou circuitos de vídeo em estúdios de TV, ou interligação de LNB ao receptor TVRO de satélite.)

$Z_a$  = impedância da carga ou antena ligada no final do cabo.  $Z_a = R_a + jX_a$ .  $Z_a$  é puramente resistiva apenas na frequência de ressonância da antena.

**ROE** = relação de onda estacionária. (**SWR** em inglês. [Não tem unidade, e pode variar de 1 a infinito](#)). A ROE só faz sentido com relação a uma **impedância de referência**, que normalmente é a impedância do cabo no qual é feita a medição ou cálculo.

Relações básicas: **ROE =  $Z_a/Z_0$**  para  $Z_a > Z_0$  ou  **$Z_0/Z_a$**  para  $Z_a < Z_0$ .

Importante: estas relações só valem para  $Z_a$  puramente resistivo ( $jX_a=0$ ). Caso contrário, a fórmula é:

$$SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad \text{onde:} \quad |\rho| = \sqrt{\frac{(R_a - R_0)^2 + X_a^2}{(R_a + R_0)^2 + X_a^2}}$$

Na fórmula acima,  $\rho$  (Rho), é o **coeficiente de reflexão de tensão** e é igual a **relação da tensão refletida pela tensão incidente**. Numa linha casada, ou seja, terminada por uma carga igual a sua impedância característica, esse coeficiente vale zero, pois não há tensão, nem corrente e nem potência refletida. Nesta linha somente existe uma **onda progressiva direta**, do gerador para a carga, de potência, tensão e corrente, **direta ou incidente**. A onda direta circula no cabo com a **velocidade da luz multiplicada pelo fator de velocidade** do cabo.

**Quando a linha não está casada**, parte da potência incidente na carga é **refletida**, portanto criando tensão e corrente refletidas, gerando uma **onda progressiva refletida**, da carga para o gerador. Como temos agora duas ondas progressivas circulando em **sentidos contrários e com a mesma velocidade**, a interferência ou **soma** destas duas ondas progressivas gera uma onda parada ou **ESTACIONÁRIA**. Em determinados lugares do cabo, separados de meio comprimento de onda no cabo, as tensões incidentes e refletidas estão em **fase** e portanto se somam, dando origem a pontos de **máxima tensão** ou ventres. Em outros lugares, situados a um quarto de onda dos ventres de tensão, as tensões direta e refletida estão em **oposição de fase** e portanto se subtraindo, causando **mínimos** de tensão ou nós. **A relação entre estes máximos e mínimos de tensão é chamada de Relação de Onda Estacionária, ROE (SWR em inglês)**.

**Importante** (para a transmissão):

**Do lado da antena : A impedância  $Z_a$  da antena define a ROE no CABO.** ROE=1 ocorre quando  $Z_a=Z_0$  e é a condição para a qual a antena **não reflete potência** de volta para o cabo. A antena funciona como carga para o cabo.

**Do lado do transceptor** : a impedância apresentada pelo cabo deve ser igual a impedância interna do transceptor para que haja **máxima transferência** de potencia do transmissor para o cabo. A impedância apresentada pelo cabo funciona como carga para o transmissor. Na recepção, acontece tudo ao contrario.

A **ROE** medida no cabo (com atenuação não desprezível) do **lado do transceptor**, é **SEMPRE melhor** (menor) que a **verdadeira ROE** existente do **lado da antena** ! Veja aqui com o [calculador](#) o efeito da atenuação sobre a ROE.

**Pode se demonstrar matematicamente e comprovar experimentalmente que:**

**A - O comprimento do cabo não tem a menor importância quando é usado para interligar uma antena com um transmissor, desde que as impedâncias da antena, do transmissor e do cabo sejam iguais entre si.**

**Está é uma condição fundamental e sempre satisfeita em projetos profissionais.**

Apenas não se deve esquecer que quando mais comprido, maiores serão as perdas no cabo, pois a atenuação do cabo (em **dB**) é linearmente proporcional ao seu comprimento, e é proporcional a raiz quadrada da variação de frequência, quando o cabo está ligado a uma carga casada **Z<sub>a</sub>=Z<sub>o</sub> (ROE=1)**. Caso contrario, as perdas serão ainda maiores e dependendo da **ROE**.

**Portanto, na pratica, deve se usar sempre o menor comprimento de cabo possível !**

Esta é a única exigência com relação ao comprimento do cabo, em projetos bem feitos, para interligar transceptor e antena!

Neste caso, o **cabo coaxial** ou a **linha bifilar** são usados como **linhas de transmissão**, ou seja, como meio de transmitir energia elétrica de um ponto a outro, com a menor perda ou atenuação possível. Mas esta e outras características elétricas da linha são muitas vezes usadas com outras finalidades (além de transportar energia), como por exemplo as listadas a seguir.

Obs.: Tem autores que recomendam que o cabo tenha um comprimento igual a [múltiplos ímpares de 1/4](#) de onda, para que, no caso de ocorrer um curto-circuito na antena, a impedância apresentada pela entrada do cabo seja infinita, e assim, "aparentemente", não causar danos ao equipamento ! Acontece que o dano causado ao equipamento (que não possui circuito de proteção contra ROE alta) é **EXATAMENTE o mesmo em circuito aberto ou em curto-circuito**, pois nos dois casos, TODA a potencia é refletida de volta para o transmissor, simplesmente porque nos dois casos o **coeficiente de reflexão de potencia (e**

**de tensão e corrente) é UM (100%) e a ROE é INFINITA !** Portanto, proceder desta maneira apenas resulta em mais custo e perdas (atenuação) no cabo. Essa idéia de que um curto-circuito é pior que um circuito aberto é válida em corrente contínua e baixa frequência, onde os geradores tem normalmente BAIXÍSSIMA resistência interna (miliohms). Não se aplica para geradores de RF (transmissores) onde a resistência interna é alta (geralmente da ordem de 50 ohms) comparada a resistência interna de um alternador ou bateria.

## **B - O comprimento do cabo é fundamental nos casos básicos seguintes:**

- 1 - quando o cabo é usado como **defasador**.
- 2 - quando o cabo é usado como **transformador de impedância**.
- 3 - quando o cabo é usado como **linha de retardo**.  
(ou quando se quer obter uma combinação dos casos anteriores)
- 4 - quando se quer obter na entrada do cabo a mesma impedância da carga ligada na sua saída, mas usando um cabo com impedância diferente das duas. ou seja, para **transferir** uma determinada impedância de um ponto a outro, sem transformação de impedância, mas arcando com os efeitos causados pela ROE diferente de 1 neste cabo.
- 5 - quando o cabo é usado como **toco de linha** (stub em inglês), aberto ou em curto, para obter uma determinada reatância indutiva ou capacitiva, numa determinada frequência, substituindo indutores ou capacitores convencionais; ou para obter um comportamento em frequência equivalente a um circuito LC serie ou paralelo convencional.

Exemplos práticos muito usados correspondentes aos casos numerados anteriormente citados:

- 1 - para ligar em paralelo antenas, transmissores, cabos, etc...; [BALUNs 1/1 e 4/1](#); circuitos híbridos; duplexadores, circuitos de derivação, etc...
- 2 - transformadores de 1/4 de onda, de 1/12 de onda, Q match, etc...
- 3 - geração de retardo, memória analógica, [refletrometria no domínio do tempo](#), etc...
- 4 - medições e testes, ligações em paralelo, prolongar fisicamente cabos de 1/4 de onda mantendo a sua propriedade de transformador de impedância, etc...
- 5 - na confecção de filtros, adaptadores de impedância, duplexadores, etc...

## **Casos específicos de radioamadores.**

A maioria de equipamentos para radioamadores tem impedância nominal de 50 ohms, simplesmente porque este é o valor mais usado para equipamentos de RF em geral. É portanto fundamental que os cabos conectados a estes equipamentos também tenham uma impedância característica de 50 ohms.

Acontece que muitas antenas simples para ondas curtas, como dipolos lineares e seus derivados, não apresentam uma impedância de 50 ohms. Um exemplo típico é o dipolo de meia onda, que no espaço livre tem uma impedância da ordem de 75 ohms, na ressonância e alimentado no centro. Mas esta impedância varia muito, dependendo da altura do dipolo em relação ao solo e da presença de outros obstáculos. Se o dipolo estiver deformado, em V invertido por exemplo, ou se não tiver comprimento igual a meia onda, como na G5RV por exemplo, a impedância muda muito mais ainda, podendo ultrapassar valores resistivos da faixa de 10 a 200 ohms, e podendo apresentar uma alta componente reativa. As duas únicas formas de se saber o valor da impedância de uma antena qualquer são : **medição** com instrumentação adequada ou **simulação** via programa de computador (como por exemplo o [MMANA](#)).

Portanto, para se ligar um dipolo de meia onda, situado muito longe do solo, e que apresenta uma impedância próxima de 75 ohms, deve ser usado um cabo de 75 ohms, de qualquer comprimento. Obtém-se assim uma ROE=1 no cabo de 75 ohms. Mas o transmissor também deveria ser projetado para ter 75 ohms de impedância de saída, para que transfira a máxima potencia para o cabo. Transmissores antigos a válvulas, com saída em PI ajustável, permitem obter essa impedância de saída, simplesmente ajustando o PI para máxima potencia de saída. Mas transmissores transistorizados são fabricados para terem 50 ohms de impedância interna e não há possibilidade de ajuste. Nesse caso pode ser usado um acoplador de antenas cuja finalidade será simplesmente transformar os 75 ohms do cabo nos 50 ohms do transmissor, casando assim perfeitamente cabo com transmissor. Um erro muito comum é fazer medições de ROE em cabos de 75 ohms com instrumentos calibrados com referencia de 50 ohms. No exemplo anterior, um medidor de ROE, calibrado para 50 ohms, ligado entre transmissor e cabo, indicará uma ROE de 1,5 ! mas a ROE verdadeira no cabo é de 1 !

Se para esta mesma antena quisermos usar um cabo de 50 ohms, devemos primeiro transformar a impedância de 75 ohms da antena para 50 ohms. Isto poderia ser feito por um acoplador e antenas colocado diretamente na antena, o que evidentemente não é nada pratico!

É exatamente neste ponto que podemos usar um ou dois pedaços de cabos, com impedâncias e comprimentos certos, funcionando como transformador de impedância. Existem ainda muitos outros métodos para se obter a impedância desejada, como circuitos LC, Gama ou Delta matchs, etc..., mas mostraremos aqui apenas o uso de cabos.

## O cabo como defasador.

Qualquer linha de transmissão atua com defasador. O defasamento é proporcional ao comprimento do cabo, pois a cada comprimento de onda, introduz 360 graus de atraso. O ângulo **A** de atraso entre entrada e saída do cabo (com saída casada), em função do seu comprimento elétrico **L**, é dado pela fórmula seguinte, em graus:

$$A = 360 \times L$$

Lembramos que o **comprimento elétrico L** de um cabo é igual ao seu **comprimento físico, dividido pelo fator de velocidade** do cabo, e **dividido pelo comprimento de onda no ar**. (vide definição anterior). Por exemplo, um cabo com 16,5 cm de comprimento físico e fator de velocidade de 0,66 e operando numa frequência de 150 MHz, equivalente a 200 cm de comprimento de onda no ar, tem um **comprimento elétrico L** igual a :

$$33 / (200 \times 0,66) = 0,125 = 1/8 \text{ de onda,}$$

e provoca um defasamento de  $360 \times 1/8 = 360 \times 0,125 = 45$  graus

Uma aplicação do cabo como defasador é permitir obter [polarização circular](#) usando duas antenas de **polarização linear** em planos ortogonais, alimentadas com defasamento adequado. Este defasamento pode ser obtido fisicamente [deslocando relativamente as duas antenas no sentido da propagação](#) ou eletricamente através de cabos de comprimentos diferentes, ou uma combinação dos dois métodos.

## O cabo como transformador de impedância.

Detalhe importante : é impossível transformar uma impedância **Z** qualquer e diferente de **Zo**, para **Zo=Ro+j0** , usando um cabo com impedância característica **Zo**. Para conseguir esta transformação, obrigatoriamente deve ser usado pelo menos um pedaço de cabo com impedância diferente de **Zo** ! Existem exemplos ERRADOS na Internet ou em revistas, onde o autor usa cabo de 50 ohms para transformar um impedância diferente de 50 ohms, em 50 ohms! isso é simplesmente impossível . O erro mais comum é o de usar o valor do conjugado (modulo da soma vetorial da parte resistiva com a parte reativa) da impedância complexa da antena, na fórmula simplificada do cálculo de ROE, citada anteriormente. Esta é uma das causas de confusões. Outra observação importante: pedaços de cabos usados como transformadores de impedância somente podem ser usados em uma única banda relativamente estreita de frequências.

**Resumindo o comportamento do cabo como transformador de impedância:**

a - Um cabo terminado por uma impedância de carga **Za** IGUAL a sua impedância característica **Zo**, sempre apresenta como impedância de entrada **Ze** o mesmo valor de **Za**

ou  $Z_0$ , independentemente do seu comprimento.

b - Um cabo terminado por uma impedância de carga  $Z_a$  DIFERENTE de  $Z_0$  somente apresenta como impedância de entrada  $Z_e$  o valor de  $Z_a$ , se o cabo tiver comprimento elétrico igual a múltiplos inteiros de meia onda.

c - Um cabo somente transforma uma impedância de carga  $Z_a$  em outro valor se tiver comprimento elétrico diferente de múltiplos inteiros de meia onda E tiver impedância característica  $Z_0$  DIFERENTE de  $Z_a$ .

d - É impossível transformar uma impedância  $Z=R+jX$  qualquer e diferente de  $Z_0$ , para  $Z_0=R_0+j0$ , usando um cabo com impedância  $Z_0$ .

Simplificando:

A linha de **meia onda** tem a propriedade de "**repetir**" a impedância que está na sua saída, isto é, não transforma impedância.

A linha de um **quarto de onda** tem a propriedade de **transformar** um **curto-circuito em um isolante** e vice-versa, isto é, provoca a maior **transformação de impedância** possível. Linhas de comprimentos intermediários, com impedâncias adequadas, permitem certas transformações, e combinadas (duas, três ou mais), permitem também qualquer transformação. (exemplo: transformador de Regier)

Existem basicamente duas formas para usar um cabo como **transformador de impedância**: o **cabo de 1/4 de onda**, ou o sistema **serie de dois cabos** também conhecido como **transformador de Regier** ou "**Q match**".

1 - **O cabo de 1/4 de onda** é o mais simples, mas nem sempre existe comercialmente o cabo com a impedância  $Z_0$  necessária. Um cabo com 1/4 de onda de comprimento elétrico tem a propriedade de poder transformar uma impedância  $Z_s$  (ligada na sua saída) em outra  $Z_e$  (apresentada na sua entrada) pela relação seguinte: **o produto de  $Z_e$  por  $Z_s$  é igual ao quadrado de  $Z_0$** . Ou de outra forma, a **impedância  $Z_0$  que o cabo de 1/4 de onda deve ter para transformar  $Z_s$  em  $Z_e$  é igual a raiz quadrada do produto de  $Z_e$  por  $Z_s$** .

**Exemplo 1:** para transformar 75 ohms em 50 ohms, a impedância do cabo deve ser de raiz de  $75 \times 50$ , ou seja: 61,2 ohms, o que não é um valor facilmente encontrado.

2 - Nesse caso, e alias em qualquer caso, a forma mais elegante e eficiente é o [transformador serie de Regier](#) (OD5CG), ou chamado "Q match" no MMANA, ou ainda

"Series matching".

Este transformador é constituído de dois pedaços de cabo em serie, com comprimentos elétricos **L1 e L2** e impedâncias características **Z1 e Z2 comercialmente disponíveis**. Veja aqui um [calculador](#) para este caso: o [SMC](#). O cabo com impedância Z2 é ligado à carga Zs (ou antena, Za) e o cabo com impedância Z1 apresenta na sua entrada a impedância Ze, ponto onde será ligado o cabo principal (normalmente de 50 ohms) até o transceptor. Quando as impedâncias Ze e Zs são iguais respectivamente a Z2 e Z1, então temos um caso particular de [transformador de 1/12 de onda](#), porque nesse caso os comprimentos L1 e L2 são iguais e com valor um pouco inferior a 1/12 de onda, dependendo da razão entre Z1 e Z2.

**Exemplo 2:** para transformar 75 ohms em 50 ohms, basta ligar em serie dois cabos de 0,0815 comprimentos de onda, um com 50 ohms e outro com 75 ohms. Observe que é um valor muito próximo de  $1/12 = 0,0833$ . Por exemplo, para ligar qualquer antena com impedância de 75 ohms a um cabo de 50 ohms, basta ligar na antena um pedaço de 0,0815 comprimentos de onda de cabo de 50 ohms, seguido por um pedaço de 0,0815 comprimentos de onda de cabo de 75 ohms, e a partir deste ponto, qualquer comprimento do cabo principal de 50 ohms, até chegar ao transceptor. O programa MMANA também permite calcular este transformador "Q match" para qualquer antena ou carga, e de maneira instantânea. Mas infelizmente, a grande maioria de radioamadores não tem conhecimentos técnicos (em linhas de transmissão, antenas, números complexos, etc...) suficientes para saber usar corretamente programas do nível do MMANA ou as formulas correspondentes e bastante complicadas. Por isso surgiram inúmeras formulas mágicas e outras bobagens a respeito de comprimento de cabos, antenas e outros assuntos relacionados.

Vamos mostrar mais alguns exemplos.

**Exemplo 3:**

A impedância do dipolo de meia onda é da ordem de 75 ohms no espaço livre, o que acontece somente quando o dipolo estiver no mínimo a um comprimento de onda acima do solo. É bastante difícil ter um dipolo para 40 metros situado no mínimo a 40 de altura! Esse dipolo, se estiver a 14 metros de altura, apresenta uma impedância de aproximadamente 100 ohms, na ressonância. Se usarmos um cabo de 1/4 de onda, com 73 ohms de impedância característica (por ex. RG59U), conseguimos transformar os 100 ohms em  $73 \times 73 / 100 = 53,3$  ohms, bastante próximo dos 50 ohms desejados. O comprimento deste cabo transformador de impedância de 1/4 de onda, em metros, deverá ser de  $75 \times 0,66 / F$ ,



onde  $F$  é a frequência em MHz, e 0,66 o fator de velocidade do RG59U (e 75 a constante explicada anteriormente). Para  $F=7,1$  MHz, esse cabo de  $1/4$  de onda deveria ter 6,97 metros. Na sua ponta oposta à antena, podemos então ligar um cabo de 50 ohms, com qualquer comprimento, porém na prática o suficiente para chegar até o transceptor!. A ROE nesse cabo de 50 ohms será de  $53,3/50=1,06$ , (ou ainda: 1,06 por um) o que é ótimo.

#### Exemplo

4:

Para ligar qualquer antena com 50 ohms a um transceptor de 50 ohms, mas, por algum motivo, usando um cabo com  $Z_0=Z_x$  diferente de 50 ohms, devemos usar um cabo com comprimento igual a múltiplos inteiros de meia onda, que é uma aplicação do caso 4. A linha de meia onda tem a propriedade de transferir o valor da carga para a sua entrada. Simplesmente porque na linha de  $1/2$  onda, o defasamento entre tensões e correntes diretas e refletidas, na sua entrada, é de um comprimento de onda ( $1/2$  na ida mais  $1/2$  na volta). Uma onda inteira corresponde a 360 graus de defasamento, ou seja, vetorialmente o mesmo que ZERO graus. Mas isso tem e seu preço: a ROE nesse cabo será sempre maior que 1, o que causa entre outras coisas um aumento da sua atenuação. E pelo fato do cabo ter comprimento imposto em múltiplo de meia onda, ele terá sempre um comprimento maior que o necessário, o que causa mais perdas ainda. Portanto, este procedimento deve ser evitado. Uma linha de meia onda também equivale a duas linhas de um quarto de onda em série e portanto causam duas transformações de impedâncias iguais e simétricas, voltando a impedância original...

Observação: um medidor de ROE (calibrado para 50 ohms) ligado entre o transceptor e o cabo indicará uma ROE igual a 1, que é a ROE na entrada do cabo com relação a 50 ohms. Mas no cabo toda a ROE não é 1, mas  $Z_x/50$  ou  $50/Z_x$ . Por exemplo, se o cabo for de 75 ohms, a ROE no cabo será igual a 1,5 (ref.=75 ohms).

#### Exemplo 5:

Existem antenas que já incorporam no seu projeto uma linha usada como transformador de impedância. Citarei como exemplos a **G5RV** e a "**J pole**":

- A **G5RV** foi desenvolvida por [Louis Varney](#), na época dos transmissores a válvulas, onde sempre havia um circuito de saída ajustável. Por isso, o seu autor não se preocupou em obter 50 ou 75 ohms em todas as bandas, o que alias é totalmente impossível para uma antena dipolo operando como multibanda. Pode ser verificado com o MMANA que o **dipolo da G5RV** (comprimento total de  $3/2$  onda em 20 metros) apresenta **impedâncias completamente estranhas** (coisas do tipo:  $400-j1000$  ou pior!) em todas as bandas, menos em 20 metros onde é menos ruim. Por isso o seu autor usou uma **linha bifilar** auxiliar, com impedância evidentemente diferente de 50 e 75 ohms (em torno de 500 ohms), ligada entre

o dipolo e o cabo principal de 50 ou 75 ohms. Esta linha, apesar de ter um **comprimento físico fixo** (igual a meia onda em 20 metros, para manter a simplicidade do projeto), **tem um comprimento elétrico diferente em cada banda**, e que foi escolhido (tarefa difícil!) de tal forma a transformar estas impedâncias inviáveis em outras mais próximas de 50 ou 75 ohms, na maioria das bandas, mesmo piorando pelo menos uma que já estava razoável.... Tudo tem seu preço ! Mesmo assim, obtém-se valores ainda longe de 50 ohms, mas nada que um bom circuito em PI ou semelhante não aceite. Onde o sucesso da G5RV, principalmente na era das válvulas ! Porém, ligar uma G5RV a um transceptor transistorizado sem acoplador de antena, nem pensar ! O caso da G5RV não pode ser totalmente resolvido com uma linha atuando como transformador de impedância, pois a antena é multibanda. Deveria se usar uma linha de 1/4 ou um Q match para cada banda, com chaves ou relés de comutação, o que evidentemente acaba com a simplicidade desejada pelo G5RV.

- A **antena J** (vertical) nada mais é que um **dipolo** vertical de **meia onda** que, em vez de ser alimentado pelo centro, é alimentado pela sua **ponta** inferior. (Fisicamente, o dipolo de meia onda é a parte do elemento maior da antena que fica acima da perna menor do "J".) Alimentado no centro, apresentaria 75 ohms, mas pela ponta, o dipolo apresenta uma impedância resistiva da ordem de 2000 ohms ! É portanto preciso transformar 2000 em 50. Nada que uma boa linha de 1/4 de onda, com "raiz de  $2000 \times 50 = 316$ " ohms, não possa fazer ! Há duas formas de alimentar esta linha de 1/4 de onda: pela extremidade inferior aberta (antena OSJ= open stub J), ou curto-circuitando esta extremidade e procurando o ponto na linha onde a impedância é 50 ohms, muito usado na pratica, pois permite que toda a antena seja aterrada em corrente continua (proteção contra raios). Existe a versão onde a **linha de 1/4 de onda é bifilar**, (fisicamente, dois condutores: um é a perna menor do "J" e o outro é a parte paralela e de mesmo comprimento do elemento maior) e portanto onde deveria ser usado um balun para ligar o coaxial. [Veja aqui mais informações sobre a antena J, OSJ e OSJ dual band](#). A outra versão, que usa uma **linha coaxial de 1/4 de onda**, também é conhecida como antena Topfkreis [\(veja aqui um exemplo em detalhes\)](#) e que dispensa o balun.

(A ser continuado...)

Veja [aqui um calculador](#) que mostra as relações básicas em linhas de transmissão de RF, e o efeito da atenuação sobre a ROE nos dois extremos da linha.

Faça o download do programa [ROE.exe](#), que permite ver interativamente as relações entre diversos parâmetros básicos de um sistema Transmissor-Cabo-Antena, como ROE, potências, perdas, etc...

Veja aqui um calculador de ROE, em função de cabos e cargas, mais detalhado, e com ábaco de Smith, de [AC6LA](#).

**Bibliografia:**

The Arrl Handbook for Radio Communications (Arrl Handbook for Radio Amateurs).

American Radio Relay League.

Linhas de transmissão. Robert A. Shipman. McGraw-hill.

Sistemas Radiovisibilidade. Gilberto Silva e O. Barradas, Embratel. Livros Técnicos e Científicos S.A.

Electronic applications of the Smith chart. Phillip H. Smith. McGraw-Hill.

Microwave theory and applications. Stephen Adam, Hewlett-Packard. Prentice-Hall.