

## Cross Yagi, antena com polarização circular, para satélites.

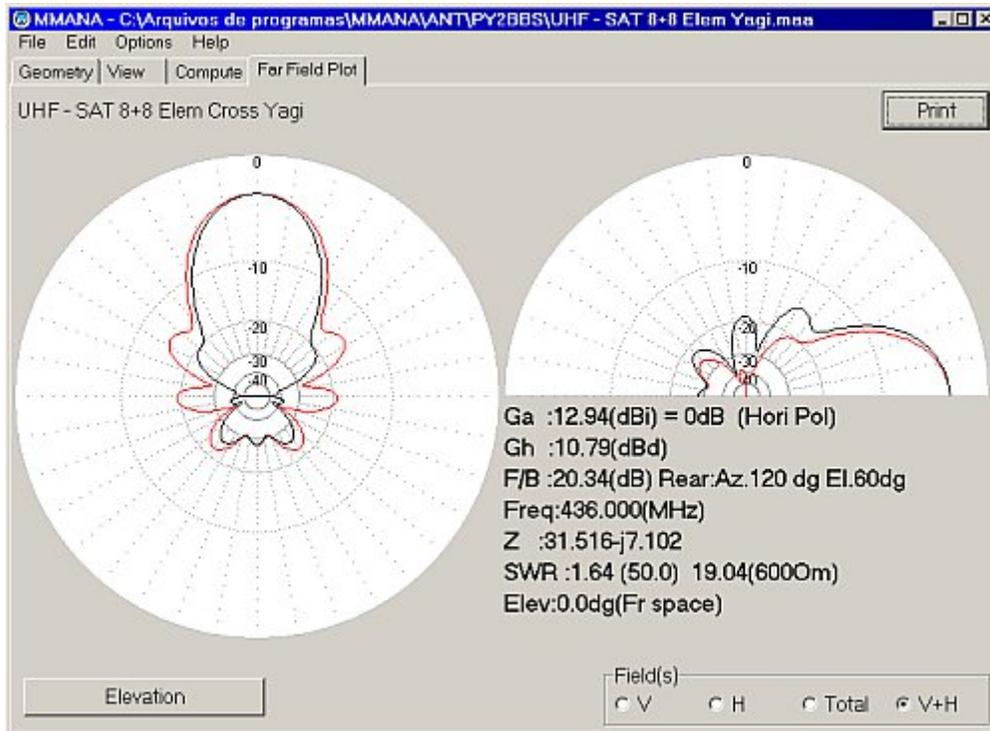
Existem alguns assuntos que tem um certo tabu em cima, e antenas yagi com polarização circular não foge muito a regra. Você pode pesquisar no [google](#), e vai ver que não vai encontrar muita coisa, geralmente mais informação técnica do que prática. Geralmente os autores dos projetos apenas dizem que precisa duas antenas, dão as medidas do cabo e pronto, você que se entenda com o resto.

Como o radioamador brasileiro geralmente não é tão abastado de OSJ para comprar antenas prontas e montar um sistema de polarização circular, resta a opção de usar antenas mais simples, ou arregaçar as mangas e meter mãos a obra e fazer uma antena. Mas e como fica aqueles que não tem disponibilidade para ficar fazendo experimentos e querem uma receita do tipo "corta assim, monta assim e pronto"?

Eu como sou adepto do "*faça você mesmo*" resolvi encarar este desafio de frente, e partir do ZERO para o projeto de um conjunto de antenas de VHF e UHF com polarização circular LHCP pra trabalhar em condições mais confortáveis os satélites de órbita baixa. Minha meta era fazer um projeto de uma antena de fácil construção, com componentes encontráveis em qualquer lugar do Brasil e principalmente a um custo muito baixo.

O resultado disso você pode conferir nesta página. Por hora estou descrevendo o projeto da antena de UHF, que é uma yagi de 8+8 elementos, com a polarização circular feita pelo deslocamento da antena "1" da antena "2" em 1/4 de onda na mesma gôndola, o que facilita o casamento, pois é meio complicadinho de se fazer o defasamento via cabo coaxial, visto que todos os cabos que pude testar, disponíveis no mercado nacional, não confere a especificação da velocidade de propagação com o que o fabricante apregoa.

Todo o projeto da antena foi feito e otimizado no programa [MMANA](#). O ganho estimado no espaço livre é de 10.79dBb, com relação frete/costas de 20.34dB e um angulo de abertura de cerca de 40°, o que não deixa o direcionamento muito critico, necessitando de poucas correções durante uma orbita.



Análise da antena de UHF feita utilizando o programa [MMANA](#).

◆As medidas:

Os elementos da antena foram construídos de vergalhão de alumínio, reaproveitado de cabos de transmissão de energia elétrica. Estes podem ser comprados por uma ninharia em ferro velho. Opte por procurar cabos que tenham o alumínio temperado, pois este é mais duro e não entorta com tanta facilidade, proporcionando uma antena mais rígida. O diâmetro do vergalhão usado é de 5/32" ou 3.96mm. Claro que você também pode comprar fio de alumínio novo, retirar a capa plástica e usar. Outra dica é se você morar perto de uma fábrica de painéis e caldeirões, é dar um jeito de comprar o vergalhão que usam para fazer as alças, ehehe.

Medida dos elementos, em milímetros:

| Elem | mm.    |
|------|--------|
| R    | 0,334  |
| EA   | 0,318  |
| D1   | 0,302  |
| D2   | 0,298  |
| D3   | 0,2925 |
| D4   | 0,287  |
| D5   | 0,2865 |
| D6   | 0,2815 |

Procure cortar as medidas o mais próximo possível as da tabela. Para ter as medidas corretas, siga a dica dada logo mais abaixo.

Vamos precisar de dois elementos de cada medida desta tabela, afinal serão duas antenas.

Preferivelmente corte os elementos um pouco maior, lime ou passe no esmeril uma das pontas alinhando a ponta limadas, e prenda os dois elementos com fita adesiva, pelas duas pontas. Vá limando a outra ponta do elemento até que ele atinja a medida da tabela. Lime os dois elementos ao mesmo tempo, assim você garante que as duas antenas serão o mais parecidas o possível.



O boom ou gôndola, use preferivelmente alumínio de 20 x 20mm. O formato quadrado ajuda MUITO no alinhamento da antena. O comprimento total da gôndola é de 1,30 metros. Eu re-proveitei uma velha gôndola de uma antena de FM. Este alumínio tem uma parede bem fina, cerca de 0,7mm. Pode parecer fino a primeira vista, mas é o suficiente, e o importante, a antena fica muito leve!



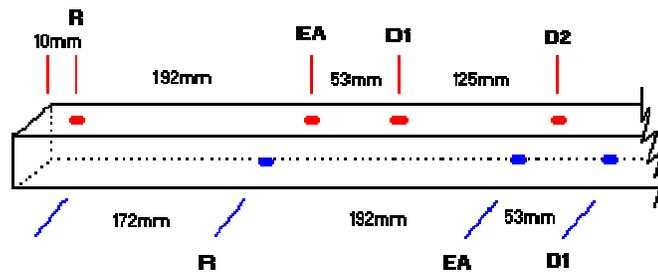
Para a furação da gôndola recomendo altamente que faça os furos em uma furadeira de bancada, pois isso garante um alinhamento praticamente perfeito dos elementos. Use uma broca de 5/32" para fazer os furos. As medidas para a furação da gôndola estão na tabela abaixo:

| <b>Elem</b> | <b>E (mm)</b> |
|-------------|---------------|
| R - EA      | 0,192         |
| EA - D1     | 0,053         |
| D1 -D2      | 0,125         |
| D2 - D3     | 0,152         |
| D3 - D4     | 0,180         |
| D4 - D5     | 0,195         |

Novamente as medidas estão em **mm**. As medidas são referentes ao espaçamento entre um elemento e outro.

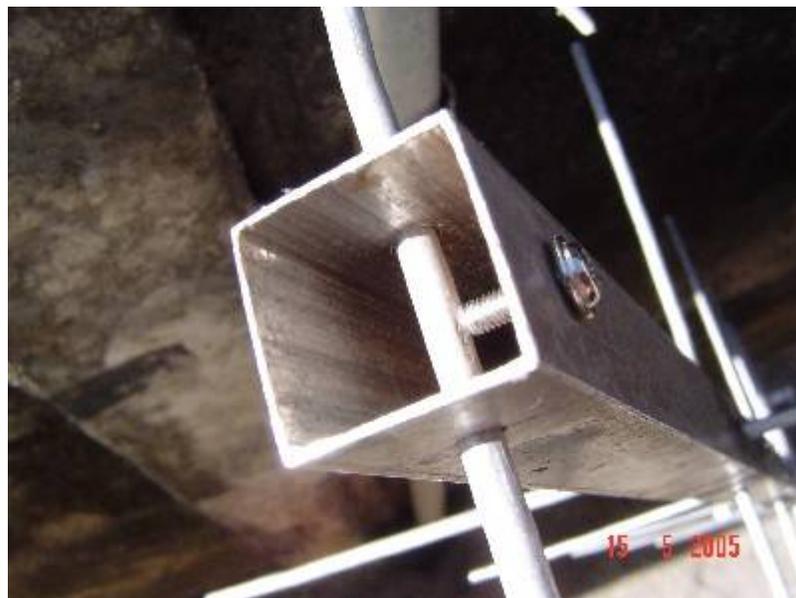
Faça o primeiro furo a cerca de 10mm de uma das pontas da gôndola. A partir deste faça o restante dos furos.

Agora gire a gôndola em 90° e vamos fazer a furação da segunda antena. A partir do primeiro furo, do refletor (que esta na outra face a 90°), meça 172mm e faça outro furo. Este furo será o refletor da segunda antena. A partir deste furo, faça os furos restantes, seguindo a tabela acima.



**Obs, o desenho não esta em escala!**

Para a fixação dos elementos, faça um furo perpendicularmente ao elemento a ser fixado, e use um parafuso com rosca de 3mm. Como o alumínio que usei é bastante fino e mole, dá para fazer a rosca com o próprio parafuso, dispensando o uso de machos. Caso use um alumínio mais grosso será necessário usar um macho de 3mm para abrir as roscas. A ponta do parafuso deve ser plana, não recomendo o uso de parafusos auto-atarrachantes, tipo "rosca soberba", pois a ponta aguda deste parafuso não dara uma boa pressão sobre o vergalhão.



### ◆Gama-match ou T-match?

Esta foi uma pergunta que fiz a mim mesmo. O gama-match é muito mais fácil de ser construído e ajustado, inicialmente optei por este sistema. Porém na prática ele não se mostrou satisfatório, pois a antena "perdia" o sinal do satélite em determinadas posições, e notei que virando a antena em 45° no seu próprio eixo, o sinal voltava, logo o lóbulo da antena estava distorcido. Pesquisando vi que quando se quer um lóbulo de irradiação mais uniforme, a opção é o acoplamento em t-match.



Os inconvenientes do t-match é que temos dois ajustes em cada antena e devemos ter especial atenção ao balun de 4:1 feito com cabo de RG59 ( $75\Omega$ ). Usaremos cabo fino por ser mais maleável, já que o RG11 (vulgo  $75\Omega$  "grosso") é muito rígido para uma antena tão pequena, e não há necessidade se se utilizar um cabo que suporta até 1Kw!

Note que o balun do t-match até pode ser feito com cabo de  $50\Omega$  mas pra que comprar dois tipos de cabo diferentes, sendo que podemos usar o mesmo cabo para tudo? É mais prático e econômico, já que de qualquer forma você vai precisar mesmo do RG59 para fazer o power splitter.

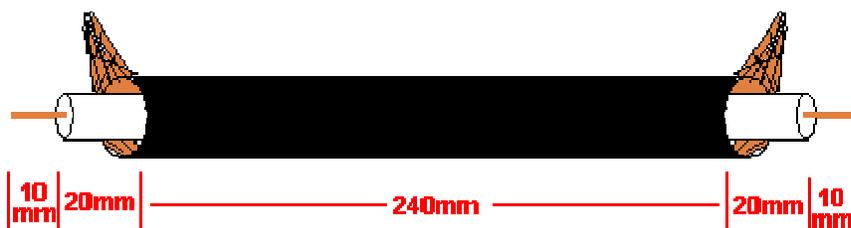
### ◆Construindo o T-match.

A medida deste balun deve ser a mais exata possível, para que ocorra o perfeito casamento de impedâncias e a defasagem do sinal de RF em 180° de um lado para outro do dipolo. Este cabo será calculado em 1/2 onda. Use cabo comum, celular NÃO SERVE! Pois as medidas serão diferentes, sendo necessário recalculá-lo. Compre cabo de boa qualidade, preferencialmente KMP. Cabos de marcas desconhecidas, "importados", geralmente os mais baratos e destinados ao uso em TV, geralmente tem uma péssima malha de blindagem.

Cabo "importado"      Cabo de boa procedência

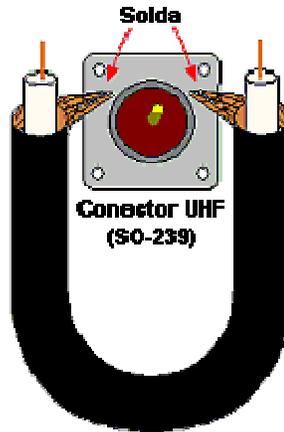


Para a antena de UHF serão necessários 2 metros de cabo coaxial. Corte dois pedaços de 300mm, descasque as pontas de forma que sobre 240mm de cabo com malha, conforme o desenho abaixo. O restante do cabo sera utilizado para o power splitter.



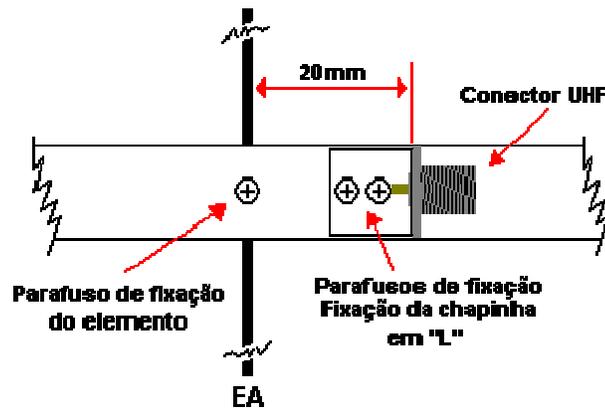
**Obs: O desenho não esta em escala!**

Solde as malhas do cabo em um conector UHF (SO-239) com flange quadrada, solde as malhas o mais curto possível, conforme o desenho abaixo. Para esta soldagem é recomendado um ferro de 60W ou maior. Não use fluxo de solda, pois este pode contaminar o núcleo plástico do cabo coaxial. O ideal é estanhar as pontas da malha primeiro, depois o conector. Dai coloque o cabo sobre o ponto estanhado do conector e apenas funda a solda. Seja rápido nesta operação pois o excesso de calor pode danificar o núcleo do cabo coaxial.



Obs: O desenho não está em escala!

Para fixar o conector a gôndola, use uma chapinha de alumínio em "L". Coloque o conector o mais rente possível a gôndola. A flange do conector deve ficar a 20mm do elemento ativo (EA). No desenho abaixo não coloquei o balun para facilitar o entendimento.



Os conectores ficam um de frente para o outro, para que os cabos do splitter tenham mais ou menos o mesmo comprimento. Observe a foto abaixo:



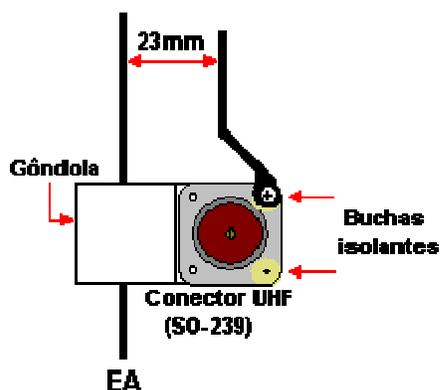
Os braços do t-match serão feitos com o mesmo vergalhão de alumínio usado para os elementos. Corte quatro pedaços de 100mm de comprimento. Amasse uma das pontas com um martelo de forma que fique igual a imagem abaixo. Faça um furo de 1/8" que será usado para a fixação do braço e entorte um pouco vergalhão conforme aparece na imagem. Faça isto nos 4 vergalhões.



As buchas isolantes do t-match foram construídas com o miolo de um cabo coaxial RG213 fora de uso. Você pode usar também outro material, como tarugo de nylon, pvc ou tecnil. Optei pelo miolo do cabo porque não tinha nenhum dos outros materiais disponíveis por aqui. O comprimento de cada isolador deve ser de 20mm, de forma que o braço do t-match fique exatamente sobre o elemento **EA**. As buchas foram presas nos furos da flange do conector UHF através de parafusos de rosca soberba, tanto como os braços do t-match. Tome cuidado de não usar parafusos muito compridos para que suas pontas não se encostem, provocando um curto-circuito. Use parafusos com 8mm de comprimento.



A distancia que o braço deve ficar do elemento é de 23mm, por isso temos a curva no braço do t-match, para que ele fique a esta distancia. Com um alicate, ajuste essa curva para que o braço fique a esta distancia do elemento **EA**.



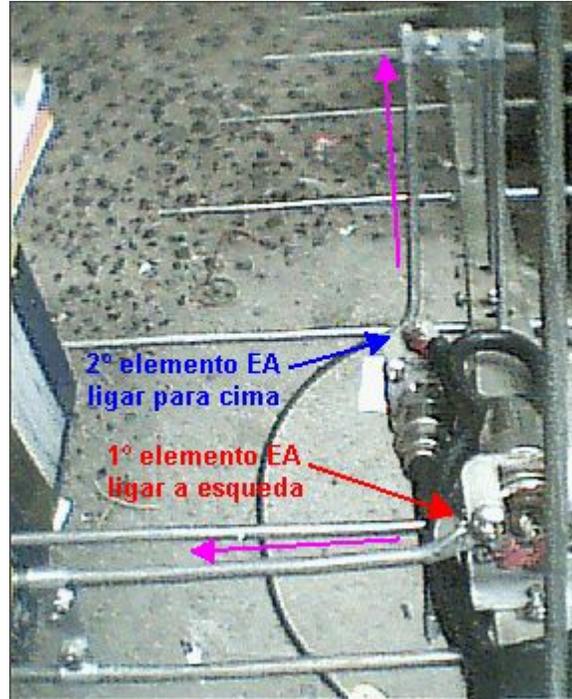
Para a ligação dos braços do t-match ao elemento **EA** use duas chapinhas de alumínio com 9mm de largura. Corte uma tira com uns 60mm de comprimento. Enrole a chapinha em uma sobra de vergalhão e aperte com o alicate para que ela fique bem justa em volta do elemento. Faça o mesmo dos dois lados da chapinha, de forma que ela deixe os dois vergalhões a 23mm de distancia (medida interna). Corte o excedente da chapinha. Faça dois furos de 3mm o mais próximo possível dos vergalhões de modo que ao apertar o parafuso, a chapinha preense o vergalhão e esta fique bem firme.



Agora ligue as pontas do cabo coaxial do balun aos braços do t-match, para isso, use terminais redondos de 3mm. Ao invés de prensar o fio de cobre, solde, é mais garantido. Solte também um fio bem curto ao terminal do conector e coloque um terminal em sua ponta.



Prenda os terminais que ficaram no balun nos mesmos parafusos que fixam o t-match. Agora vamos a uma parte que requer atenção, a ligação do vivo do conector das duas antenas. Pois se ligarmos um deles errado a polarização da antena não ficará correta (**LHCP**). Portanto para isso, olhe a antena pela traseira (elemento **R**). Coloque o primeiro elemento **EA** na posição **horizontal**. Ligue o terminal vivo do conector no braço que ficar a **esquerda**. No elemento **EA** que ficou a frente, ligue o vivo no braço que ficou para **cima**. Muita atenção nesta parte, pois se ligar errado você não vai ouvir nada com a antena.



#### ◆Power Splitter.

Agora que temos as duas antenas prontas, vamos construir o power splitter. Alguns podem perguntar o porque não usar um power splitter decente como este aqui. Mas escolha recaiu para um splitter comum a cabo coaxial por dois motivos:

- A largura de banda necessária para trabalhar os satélites é pequena: 435 a 437MHz.
- O peso extra representado pelo power splitter, a antena deve ser o mais leve possível.

Partindo destes dois motivos mãos a obra. O splitter é bem critico se não estiver exatamente simétrico, teremos R.O.E. alta e fatalmente uma antena pode trabalhar fora de fase uma da outra. Como resolvemos fazer o defasamento na própria antena, ambas devem ser alimentadas com a mesma fase.

O melhor método é o do ajuste manual. Se quiser fazer o splitter certinho, siga estes passos aqui, caso contrario, queira partir para um resultado prático mas que não garanto que terá rendimento 100%, pule para as medidas prontas.

Pegue o que sobrou do cabo 75Ω. Partindo-se do principio que você comprou um cabo de boa qualidade, seu fator de propagação deve ser 0.66% ou 0.67%, para a pratica adotaremos 0.66%. Partindo-se dos conectores da antena, a medida mais adequada para os cabos saírem por trás da antena é a medida de 5/4 de onda. O splitter feito com cabo, deve ter múltiplos impares de 1/4 de onda. A formula usada para o calculo é esta abaixo. Apenas frisando mais uma vez, **os cabos devem sair por trás da antena.**



Frequência em MHz (436) resultados em cm.

$$300000/436 = 68,80 \text{ (comprimento de onda)}$$

$$68,80 / 4 = 17,20 \text{ (1/4 de onda físico)}$$

$$17,20 \times 0.66 = 11,35 \text{ (1/4 de onda no cabo)}$$

$$11,35 \times 5 = 56,75 \text{ cm}$$

Acontece que na prática, após montar o splitter com estas medidas e testa-lo com duas cargas fantasma, sua R.O.E. era de 1.8:1, havia algo de errado, pois as cargas que usei tem R.O.E. de 1.1:1 em 436MHz. Logo, o fator de propagação do cabo não é 0.66 como afirma o fabricante, ao menos não em **UHF**. O que fazer então? Partir para o ajuste fino e manual.

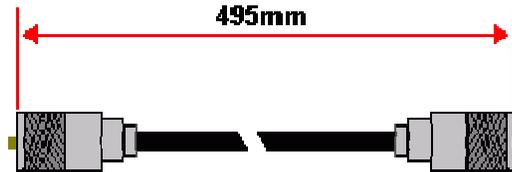
Pegue 4 resistores de  $100\Omega \times 1/4W$ . Ligue dois deles em paralelo, esta será nossa carga fantasma para o ajuste. Como os resistores só suportam 250mW, logo cada carga agüenta 0,5W continuamente. Mas como só precisaremos transmitir por alguns segundos para medir a R.O.E. podemos usar a potencia mínima do rádio, 5W. Para testar se esta tudo Ok, ligue uma destas cargas diretamente o conector do medidor de R.O.E (ele deve funcionar em UHF, eu uso um Yeaesu YS-500). Meça a R.O.E. e anote. Faça o mesmo para a outra carga, elas devem ser muito similares. Se deu tudo certo e os resistores não forem muito ruins, você deve ler 1.2:1 aproximadamente.

Corte dois pedaços de 60cm de cabo  $75\Omega$ . O importante é que os cabos tenham exatamente a mesma medida. Solde um conector UHF em cada cabo. Coloque os dois cabos paralelamente, alinhe as pontas dos dois conectores. Prenda os dois cabos com pedaços de fita, tal como fizemos lá em cima com os elementos. Deixe uma folga do lado dos conectores, de forma que você possa colocar o conector "T". Prenda a cada 10cm.

Descasque as pontas dos cabos e prenda as cargas feitas com os resistores. Meça a R.O.E. Se ela estiver alta, corte 1cm de cada cabo. O importante é que os cabos tenha sempre a mesma medida, por isso prendemos os dois cabos juntos! Vá cortando de 1 em 1cm até que obtenha R.O.E < 1.2:1 ou

próximo disso. Vá anotando em um papel a medida do cabo atual e a R.O.E obtida. Ao encontrar o mínimo, retire os resistores e monte os conectores. Se por acaso cortou demais, corte dos pedaços novos de cabo com a medida (por isso mandei anotar em um papel) que deu a menor R.O.E. e monte os conectores.

No final das contas meu splitter ficou com **495mm** ao invés dos **567.5mm** calculados... Vai entender...



As medidas dos splitter devem ser contadas inclusive os conectores, conforme acima. Se você não tiver como fazer as medidas que expliquei acima, recomendo usar 495mm e torça para seu cabo ser da mesma marca que eu utilizei.

Antes que alguém diga que eu esqueci de descontar a medida do conector "T", a diferença é bem maior que o conector. Pois tivemos 72.5mm de diferença ao total e o conector "T" mede 42mm de ponta a ponta.

Prenda todos os os cabos a gôndola com fita isolante. Amarre tudo o mais próximo possível, sem deixar folgas ou barrigas de cabo. Deixe todas as sobras na parte de trás.



#### ◆ O ajuste do t-match... ou a hora da onça beber água (hihi)...

O ajuste ideal é feito com uma carga fantasma. Se possuir uma ou tiver onde conseguir emprestada, proceda da seguinte forma, desconecte um dos lados do splitter de uma das antenas. Através de um conector UHF fêmea-fêmea, ligue a carga fantasma no cabo do splitter.

Ligue o conector "T" do splitter ao medidor de R.O.E. através de um cabo curto. O ideal é próximo a 90cm.

Caso não tenha a carga fantasma, ligue o cabo de 90cm diretamente a uma das antenas, neste caso não faremos o ajuste usando o splitter.

Coloque as chapinhas de ajuste do t-match na extremidade dos braços. Meça a R.O.E.

Vá movendo as chapinhas de 5 em 5mm sempre na mesma medida dos dois lados, e medido a R.O.E. até encontrar o mínimo possível. Faça o mesmo com a outra antena.

Se estiver usando a carga fantasma, inverta, retire a carga, e ligue a ponta solta do splitter novamente a antena não ajustada. Desligue o cabo do splitter da antena ajustada e ligue a carga a ela.

Se esta ajustando só com o cabo de 90cm, ligue o cabo diretamente a outra antena.

Depois de ajustada as duas antenas, ligue o splitter nas duas antenas e meça a R.O.E. se tudo correu bem você deve ter a R.O.E similar a esta tabela:

| <b>Frequência</b> | <b>R.O.E.</b> | <b>Frequência</b> | <b>R.O.E.</b> |
|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| 430MHz            | 1,4:1         | 436MHz            | 1,1:1         |
| 431MHz            | 1,4:1         | 437MHz            | 1,2:1         |
| 432MHz            | 1,3:1         | 438MHz            | 1,2:1         |
| 433MHz            | 1,3:1         | 439MHz            | 1,3:1         |
| 434MHz            | 1,2:1         | 440MHz            | 1,3:1         |
| 435MHz            | 1,1:1         |                   |               |

Caso ao ligar o splitter a R.O.E. suba um pouco, você pode se arriscar a ajustar o t-match das duas antenas, mas mexa só um pouquinho e faça o mesmo ajuste nas duas antenas ao mesmo tempo.

Depois de tudo ajustado vede as pontas dos cabos do balun e as buchas isolantes (principalmente se foram feitas com miolo de cabo RG213) com borracha de silicone, para que a água não faça estragos. É recomendado também cobrir os parafusos e as chapinhas de acoplamento do t-match com silicone, para não haver oxidação ali e por consequência alterar o funcionamento do t-match.

Os conectores UHF devem ser vedados com fita isolante do tipo "auto-fusão".

**Continua...**

***Ainda falta:***

***- Medidas da antena de VHF (o método de construção é o mesmo)***

---

**◆Mais imagens da antena de UHF:**





© 2005 by PY2BBS