

SINTONIZE FACILMENTE SUA ANTENA VERTICAL ENCURTADA PARA 160 M COM O HAIRPIN

Paulo Renato F. Ferreira, PY3PR
Xangri-lá, RS, Brasil
py3pr@arrrl.net

A sintonia pelo *hairpin* é conhecida há décadas, principalmente pelos construtores de antenas Yagi para as bandas altas. Embora as fontes tradicionais de referência (ref. 1 e 2) e outras poucas fontes na Internet (ref. 3, 4, 5) relatem resultados interessantes em 160 m, fiquei desapontado pela escassez de maiores detalhes. Por ser um método considerado rápido e eficiente, decidi experimentá-lo numa antena L invertido, objetivando compactá-la e, ainda por cima, melhorar o desempenho dela nos DX. Se funcionasse como diziam, prometi aos meus botões compartilhá-lo com vocês e contribuir para popularizá-lo. Vejam o que sucedeu.

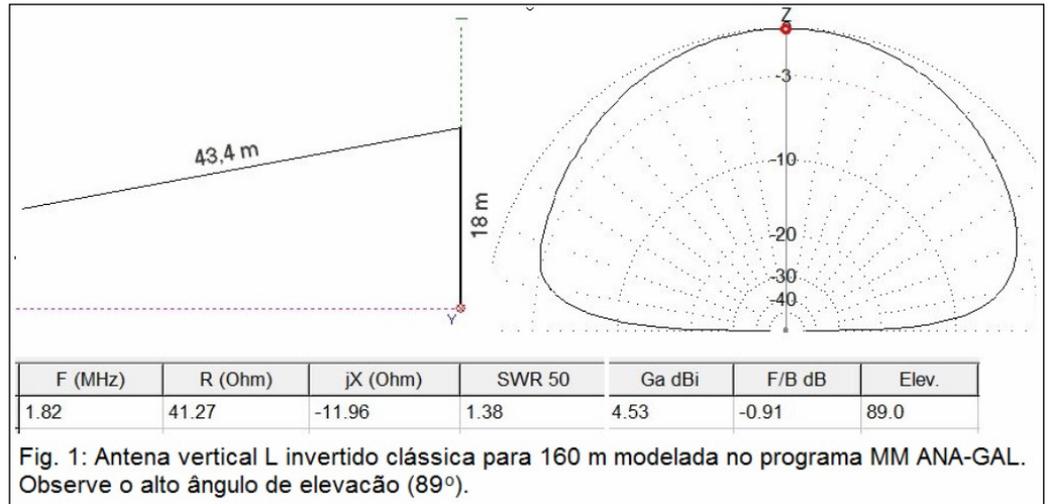


Fig. 1: Antena vertical L invertido clássica para 160 m modelada no programa MM ANA-GAL. Observe o alto ângulo de elevação (89°).

O tamanho do desafio

O maior desafio para o operador de 160 m residente num lote urbano é o de conciliar o tamanho da antena com o espaço disponível. A antena vertical ideal para 160 m é o monopolo, que mede aproximadamente 40 m de altura e necessita de dezenas de radiais com $\frac{1}{4}$ de onda de comprimento cada um. Mesmo a popular antena vertical L invertido clássica, ou a vertical de acoplamento capacitivo (ref.6), ainda requerem um considerável espaço. As antenas verticais encurtadas ajustam-se melhor a espaços reduzidos, mas costumam ter uma impedância ao redor de 12Ω e devem ser perfeitamente acopladas ao cabo coaxial de 50Ω . Nossa missão consiste em realizar esta proeza da forma mais eficiente, simples e barata possível.

A antena L invertido clássica

Uma interessante maneira de aumentar o comprimento elétrico de uma antena vertical é utilizando o “chapéu capacitivo”, um conjunto de fios conectados à extremidade superior da antena. O exemplo mais prático é o da L invertido clássica (fig.1). Recomendo fortemente que você amplie suas leituras nesse assunto! (ref. 7, 8, 9, 10).

A antena L invertido clássica costuma ser sintonizada por uma “carga” capacitiva (C) em série junto ao ponto de alimentação. As perdas ôhmicas são pequenas em comparação a outros métodos (leia abaixo). Entretanto, a antena deve, necessariamente, ser indutiva para ter um bom resultado. Conforme a figura 1, o comprimento total deve ser superior a $\frac{1}{4}$ de onda (18 m no segmento vertical + 43,4 m no inclinado= 61,4 m no total!), o que pode piorar a limitação

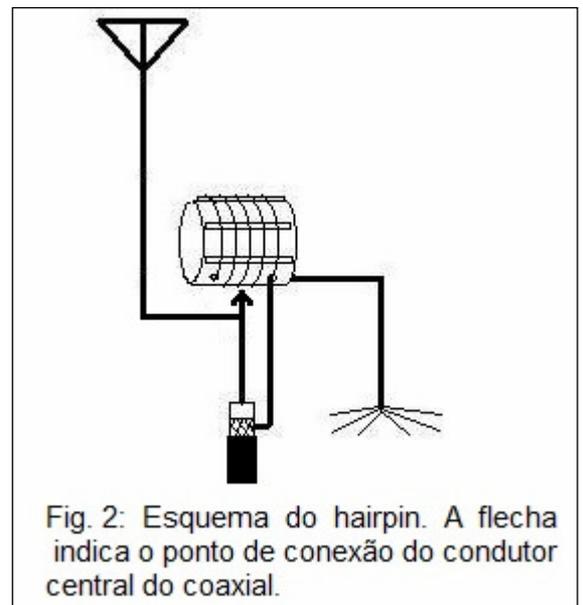


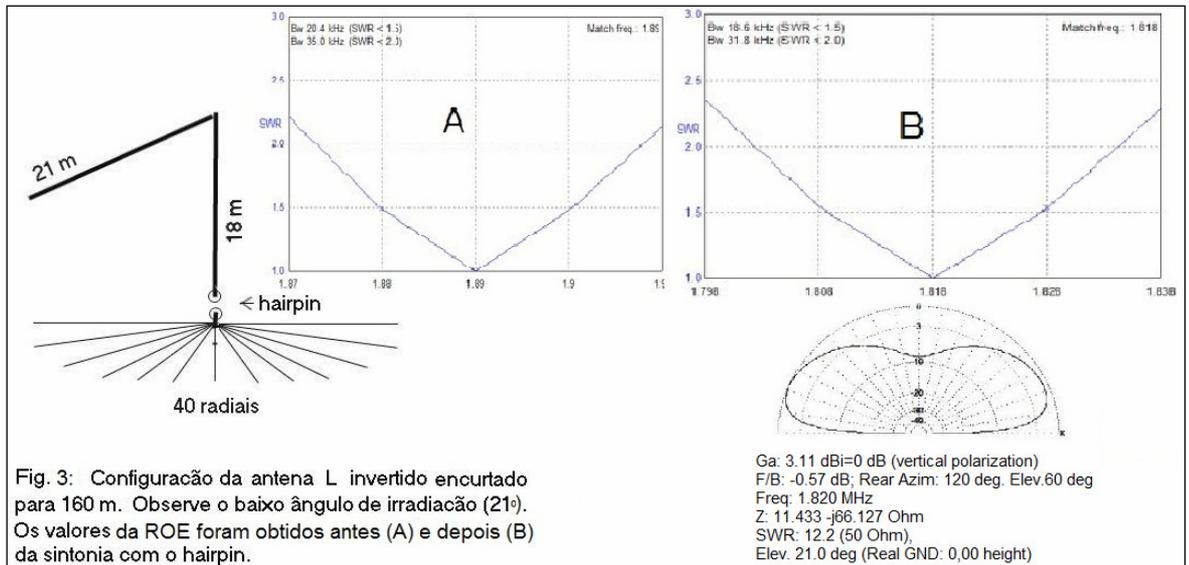
Fig. 2: Esquema do hairpin. A flecha indica o ponto de conexão do condutor central do coaxial.

de espaço. Além do mais, a antena L invertido, com 43,4 m no segmento inclinado, não se comporta propriamente como uma vertical, pois parte dela irradia no plano horizontal e, conseqüentemente, o ângulo de elevação é de quase 90° - alto demais para fins de DX.

Antenas verticais encurtadas

Várias formas de sintonia podem ser utilizadas com a finalidade de aumentar a impedância de uma

antena encurtada para 50 Ω. As mais tradicionais empregam um indutor isolado (L) ou combinado a um capacitor variável (LC). Outras formas menos usadas de acoplamento, como *stubs* e transformadores de RF



com núcleo toroidal, apresentam maior complexidade construtiva.

É interessante conhecer as vantagens e desvantagens das cargas L, C e LC. As principais são:

- Indutores podem introduzir perdas ôhmicas significativas. Leia uma boa matéria de W8J1 a respeito (ref. 10).
- O indutor necessário, a ser colocado na base ou no centro do segmento vertical, costuma ter 70 μH, com 10 cm de diâmetro e 30 espiras numa forma de PVC de 10 a 12 cm de comprimento [ref. 11].
- Para diminuir mais ainda as perdas, o indutor deveria ser auto-suportado; isto é, ser montado sem a forma de PVC. Porém, isto pode comprometer a resistência e a estabilidade mecânica.
- Alternativamente ao indutor com núcleo de ar, pode-se usar um transformador de RF 4:1 com núcleo toroidal de ferrite. As perdas serão menores, assim como o tamanho do indutor. Porém, no mercado nacional, núcleos toroidais de ferrite são objetos raros e a construção desse transformador já constitui um capítulo a parte (ref. 12).
- Tanto os grandes indutores com núcleo de ar, assim como os de núcleo toroidal, podem requerer uma sintonia demorada e crítica, resultando numa faixa útil de R.O.E. (<1,5:1) muito estreita, geralmente menor que 10 kHz, se as perdas ôhmicas forem baixas.
- Muitas vezes, a sintonia apenas com o indutor não é satisfatória e a alternativa é usar um circuito LC, que costuma ser inserido na base da antena. Capacitores variáveis, com valores de 0-500 pF e que suportem

Resonance	Coil	LC-match	Line match 1
		L	4.952 uH
	Number of turns		6.010737
	Diameter of coil		10.16 cm
	Diameter of wire		1.63 mm
	Between turns		5.0 mm
	Length of coil		3.99 cm

Fig. 4: Dados construtivos do hairpin conforme o programa MM ANA-GAL.

tensões de 3 a 5 kV, também são peças difíceis de encontrar, mas podem ser construídos artesanalmente (ref. 13). Embora o circuito LC proporcione maior conforto na sintonia, também terá perdas significativas e estreita largura de banda.

As antenas encurtadas nos 160 m apresentam um desempenho inferior ao monopolo vertical, mas essa diferença pode ser reduzida se tomarmos alguns cuidados simples. Os mais importantes são:

- Sempre utilizar alguma forma de chapéu capacitivo.
- Obter o melhor sistema possível de radiais. Conforme o livro ARRL Antenna Book [ref. 14], 40 radiais - com no mínimo 0,2 comprimento de onda - podem ser suficientes para um resultado razoável.
- Manter o segmento vertical da antena o maior possível e
- Evitar ao máximo as perdas ôhmicas, utilizando fios de cobre com diâmetro mínimo de 1,64 mm (AWG 14); fabricando indutores de alto Q; mantendo os fios o mais esticado possível, etc.

Antena L invertido encurtada

Para estabelecer o ponto de ressonância de uma antena (reatância ao redor de zero), precisamos atuar sobre a reatância capacitiva e a indutiva. Por exemplo, se a antena estiver curta demais, a reatância será capacitiva e a sintonia consistirá em aumentar o componente indutivo, seja por aumentar o comprimento físico do elemento irradiante, seja por adicionar um indutor em série. O contrário também é verdadeiro: se a antena estiver comprida demais, a reatância será indutiva e a sintonia consistirá em aumentar o componente capacitivo, seja por diminuir o comprimento físico do irradiante, seja por introduzir uma capacitância em série.

Uma solução interessante para quem não dispõe de 43 m para esticar um fio e também não deseja acoplar sua antena com o sistema L ou LC consiste em usar

as principais vantagens da antena L invertido clássica e os métodos tradicionais de acoplamento, resultando num híbrido: o chapéu capacitivo e um pequeno indutor modificado. A resultante é a antena L invertido encurtada [ref. 1, 2, 3], uma alternativa eficiente (menos perdas), simples (sem indutores grandes, sem capacitores variáveis), rápida, compacta, com baixo ângulo de irradiação e que ainda permite esticar o chapéu capacitivo num comprimento menor. O nome do indutor chama-se *hairpin*.

Construindo o *hairpin*

O *hairpin*, portanto, destina-se a sintonizar antenas encurtadas ($<1/4$ de onda) e é inserido entre os terminais do cabo coaxial de 50 Ω no ponto de alimentação da antena (fig. 2). Na banda de 160 m, ele consiste num pequeno enrolamento de fio com indutância entre 2,5 a 6 μH , dependendo da bitola do fio, do comprimento total da antena e da qualidade do aterramento. A antena que utilizei no experimento



Fig. 5: O hairpin já no interior da caixa de proteção. Observe os espaçadores de acrílico, as inserções do condutor central (+) e da malha (-) do coaxial, a saída para o fio vertical da antena (A) e a numeração das espiras.

está descrita na figura 3. Trata-se de uma antena L invertido encurtada e de um sistema de aterramento composto por 40 radiais de comprimentos variando entre 20 e 40 m, empregando fio de cobre AWG 14 revestido de PVC. O sistema foi projetado pelo programa MM ANA-GAL [ref. 15]. O segmento vertical, de 18 m, ficou paralelo a um poste de eucalipto de 20 m de altura, no topo do qual está instalada uma antena Yagi para 40 m. O comprimento do segmento inclinado foi de 21 m, com a ponta distal a 10 m do solo. Portanto, tem 39 m de comprimento total e está encurtada em relação ao comprimento de $\frac{1}{4}$ de onda de um monopolo vertical ou de uma L invertido clássica. Conseqüentemente, a antena apresenta uma reatância capacitiva que pode ser compensada através da introdução do *hairpin*.

Obtive os valores de impedância (Z) conforme descrito na figura 3. Assim, a missão consistiu em elevar a impedância de $11,43 \Omega$ da antena para os 50Ω do cabo coaxial. O programa me informou que o indutor necessário deveria ter um valor de $4,9 \mu\text{H}$, a ser obtido conforme os dados da figura 4.

Enrolei o *hairpin* com fio de cobre AWG 14 sobre uma forma de cano de PVC com $10,16 \text{ cm}$ (4 polegadas) de diâmetro, num total de 7 espiras (1 espira a mais que o calculado*). Elas foram montadas sobre 6 suportes de acrílico com 5 mm de espessura, 10 mm de largura e 50 mm de comprimento, e separadas entre si por cerca de 5 mm (fig. 5 e 6). Estes suportes foram dispostos simetricamente sobre a forma de PVC e atenderam a dois objetivos:

- Afastar as espiras da forma de PVC para tentar minimizar as perdas ôhmicas e
- Facilitar a fixação temporária de uma garrinha jacaré soldada a um fio de cobre AWG 22 ligada a extremidade do condutor central do cabo coaxial RG 213. A malha do coaxial foi soldada diretamente no início da espira número 1 junto a um parafuso (fig. 2 e 5).

Sintonizando o *hairpin*

Para encontrar o ponto de sintonia com a garrinha jacaré, utilizei o analisador de antenas MFJ 259 B, mas se você não dispuser de um, não desista. Este artigo foi escrito para descomplicar o assunto! Siga os passos abaixo e monitore o resultado com um refletômetro, utilizando a menor potência possível.

Deslizei a garrinha nas espiras do indutor até encontrar a menor ROE na 5ª espira. Neste momento, o analisador mostrou uma reatância próxima de zero e uma ROE de $1,2:1$. Porém, caso isso não aconteça no seu experimento, proceda da seguinte maneira:

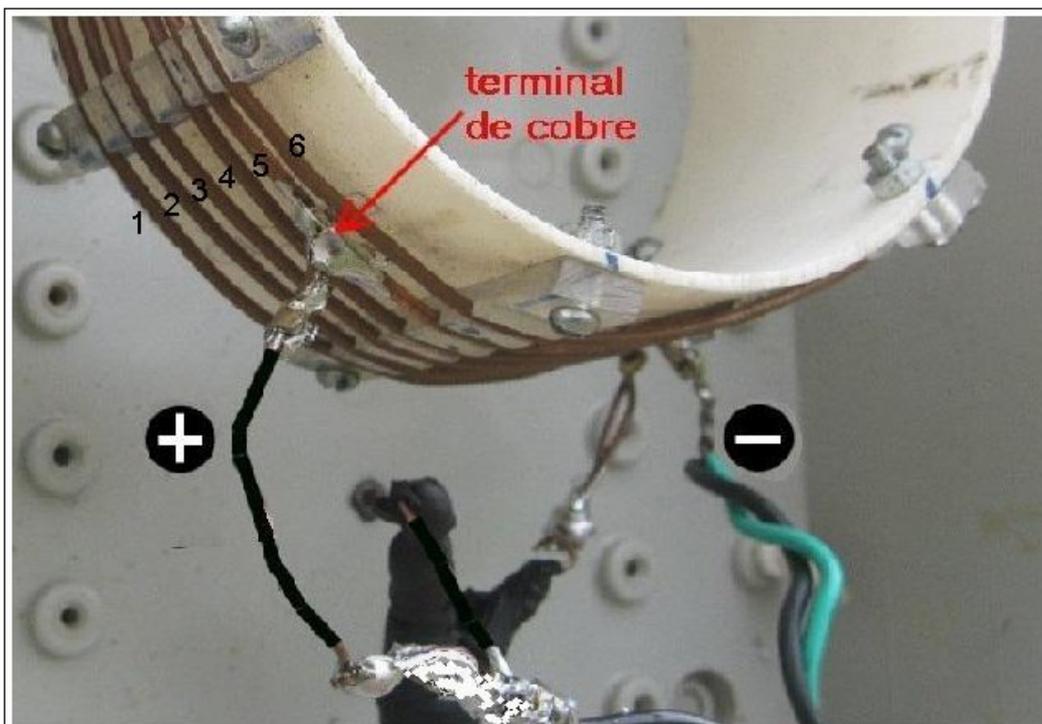


Fig. 6: Observe a solda do condutor central do cabo coaxial (+) na espira número 5 através de um terminal de cobre. A malha (-) está soldada à espira número 1 junto a um parafuso, onde também se conecta pelos fios verde e preto entrelaçados ao sistema de radiais .

* Portanto, caso você decida calcular as dimensões do seu *hairpin*, facilite o ajuste aumentando cerca de uma ou duas espiras, que poderão ser cortadas após a sintonia definitiva.

- Se houver uma tendência de queda da ROE com a garrinha no final do indutor, mas longe do ponto de sintonia, é sinal que o *hairpin* está curto demais. Aumente mais duas ou três espiras e repita a operação.
- Para uma sintonia fina, quando o resultado já estiver muito próximo do ideal, é possível comprimir ou afastar as espiras e verificar o comportamento da ROE.
- Caso a ROE não baixe de um determinado ponto, experimente também aumentar ou diminuir o comprimento do fio da antena em pequenos segmentos de 5 cm e lentamente deslize a garrinha de um lado para o outro. Observe o comportamento da ROE.

Os resultados aqui obtidos podem variar levemente em função da frequência, do comprimento/altura da antena, do diâmetro do fio, do sistema de aterramento e dos detalhes da montagem do *hairpin*. Recomendo iniciar com um *hairpin* de 7 espiras.

E o meu rádio não queimou?

O ponto de sintonia situou-se em 1,818 MHz, com uma largura de banda abaixo de 1,5:1 entre 1,808 e 1,828 MHz, sugerindo perdas ôhmicas aceitáveis (fig.3). Com 700 W, não observei centelhamentos ou superaquecimento no ponto de alimentação. Os resultados nos DX foram satisfatórios. Observe as reportagens que recebi no *Reverse Beacon Network* (fig. 7). Nada mal para uma antena de jardim para 160 m!

Ao finalizar meu experimento, não gastei mais do que 30 minutos até obter a ROE desejada. Então, removi o fiozinho da garra jacaré e, no ponto de sintonia, soldei o fio central do coaxial utilizando um terminal de cobre (fig. 6). Após, acondicionei o *hairpin* em uma caixa plástica. Para encerrar a experiência, enrolei 10 espiras do cabo coaxial RG 213 próximo ao ponto de alimentação numa forma de PVC de 12 cm (aproximadamente 5 polegadas) de diâmetro. Esse balun 1:1 reduz a circulação de correntes indesejáveis de modo comum no *shack* e a captação de RF pela minha outra antena de recepção (fig. 8).

N4ZR	PY3PR	1820.0	CQ	8 dB	25 wpm	0334z 11 Mar
NY3A	PY3PR	1821.0	CQ	3 dB	25 wpm	0328z 11 Mar
N4ZR	PY3PR	1821.0	CQ	8 dB	25 wpm	0321z 11 Mar
K3MM	PY3PR	1821.0	CQ	5 dB	25 wpm	0318z 11 Mar
W3LPL	PY3PR	1821.0	CQ	26 dB	25 wpm	0315z 11 Mar
W27I	PY3PR	1821.0	CQ	11 dB	25 wpm	0315z 11 Mar
NY3A	PY3PR	1821.0	CQ	3 dB	25 wpm	0315z 11 Mar
K3MM	PY3PR	1820.7	CQ	2 dB	25 wpm	0306z 11 Mar
NY3A	PY3PR	1820.7	CQ	3 dB	25 wpm	0304z 11 Mar
W3LPL	PY3PR	1820.7	CQ	7 dB	25 wpm	0304z 11 Mar

Fig. 7: Reportagens recebidas com a antena L invertido encurtada e potência de 700 W pelo reverse beacon network (www.reversebeacon.net) no dia 11 de março de 2012.

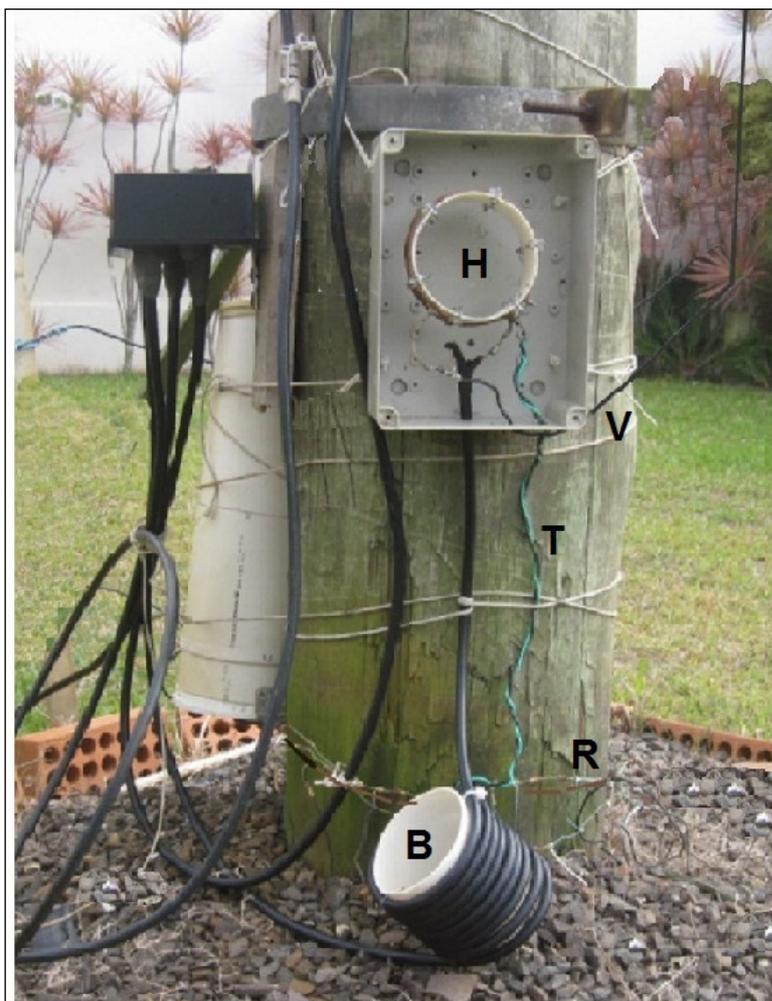


Fig. 8: Disposição do hairpin (H), da saída da antena vertical (V), do balun 1:1 (B), dos fios de aterramento (T) e dos radiais (R). A caixa preta à esquerda é um comutador remoto de antenas.

Vantagens da sintonia com o *hairpin*

As vantagens do *hairpin* numa antena vertical são múltiplas:

- Permite encurtar o comprimento da antena.
- Diminui o ângulo de elevação de 90º para cerca de 21º e melhora o desempenho nos DX.
- Tem um tamanho muito menor que o indutor de 70 µH colocado em série no segmento vertical da antena e menos perdas.
- Serve como um “dreno” de estáticos e de cargas elétricas acumuladas na antena diretamente para o sistema de aterramento,
- Alguns radioamadores notaram diminuição do ruído na recepção e maior proteção ao equipamento no caso de haver uma descarga elétrica atmosférica próxima (ref.2).

Em conclusão

A sintonia com *hairpin* permite encurtar a antena L invertido clássica, sem piorar o desempenho. Ao contrário, ainda introduz inúmeras vantagens. A sintonia é rápida, eficiente, simples e o custo é irrisório. Obviamente, o desempenho de antenas encurtadas não se compara ao de um monopolo vertical com ¼ de onda. Entretanto, desde que corretamente construídas e com um bom sistema de aterramento, os resultados são razoáveis. O *hairpin* também pode ser utilizado na sintonia de outras antenas encurtadas e em outras bandas.

Referências:

1. ARRL Antenna Book. 22a ed. 2011.
2. Low Band DXing. John Devoldere, ON4UN. 5a ed. ARRL. 2010.
3. N2NL's former QTH. Dave Mueller, N2NL. Disponível em: www.n2nl.net/?page_id=40
4. Tips for Tuning a Full-Size 160 Meter Vertical. Jay Terleski, WXØB. November/December 2008 NCJ. Disponível em: www.ncjweb.com/novdec08feat.pdf
5. Practical Antennas For the Low bands. Rudy Severns, N6LF . Disponível em: www.k6ria.net/antenna/seaside_2007_antenna.pdf
6. Antena vertical encurtada para 160 m com baixo ângulo de irradiação. Paulo R. Ferreira, PY3PR. Disponível em: <http://www.feirinhadigital.com.br/rbr/artigos-ecnicos/py3pr/160%20m%20QST%20em%20portugues.pdf>
7. Performance of Short, Vertical, Top-Capacitance-Loaded Antennas. R.J.Edwards, G4FGQ. Disponível em: www.smeter.net/antennas/short-top-hat-loaded.php
8. Antenna basics for beginners. Dick Sander, K5QY. Disponível em: www.k5qhd.org/documents/K5QYpresentation_20120227.pdf
9. Some Suggestions For Short Verticals On 160 m. Rudy Severns, N6LF. Disponível em: <http://rudys.typepad.com/files/short-160m-verticals.pdf>
10. Inductors and Loading Coil Current (Mobile and Coil Loaded Antennas). Tom Rauch, W8JI. Disponível em: htwww.w8ji.com/mobile_and_loaded_antenna.htm
11. Pratical Marconi Antennas: The Very Short Marconi. Em: Vertical Antennas. Ed.: Radio Amateur Call Book. Cap. 3, pág. 68, 1986.
12. Transformadores de radiofrequência (RF) para antenas de recepção. Paulo R. Ferreira, PY3PR. Disponível em: <http://www.feirinhadigital.com.br/rbr/artigos-tecnicos/py3pr/Toroides-FD.pdf>
13. Um capacitor variável para alta potência feito por você mesmo. Paulo R. Ferreira, PY3PR. Disponível em: www.feirinhadigital.com.br/rbr/artigos-tecnicos/py3pr/capacitor%20variavel%20FD.pdf
14. The ARRL Antenna Book. 21ª Ed. 2007. pág. 6-36.