

Estudo da viabilidade do emprego de antenas do tipo *loop* magnético em enlaces operacionais de comunicações na faixa de HF

Braulio Fernando R Sakamoto¹ e Fernando Henrique Castellani²

Centro de Instrução de Guerra Eletrônica – Módulo de Guerra Eletrônica de Comunicações. Rod DF 001 – EPCT, km 5 s/n – Setor Habitacional Taquari – Lago Norte – Brasília – DF – Brasil. CEP 73001-970

Resumo – neste investiga-se a viabilidade do emprego de antenas do tipo *loop* magnético em enlaces operacionais de comunicações na faixa de HF. São apresentados a fundamentação teórica do funcionamento dessas antenas, as simulações de desempenho geradas em *software* e os resultados obtidos em testes de campo. Finalmente, faz-se uma comparação entre o modelo adotado e os dados colhidos na prática realizada, concluindo sobre a viabilidade do emprego desse tipo de sistema radiante em situações de emprego militar.

Palavras-chave: antenas, comunicações, HF, *loop* magnético.

I. INTRODUÇÃO

a. Antena *Loop* Magnético

Antenas de quadro, ou *loops*, são sistemas radiantes baseados em espiras de material condutor. Caracterizam-se por apresentar ressonância na frequência de operação, com elevado fator de qualidade *Q*, diretividade, largura de banda passante estreita e predominância de propagação da componente magnética do sinal radiado, devido a sua característica de circuito fechado.

Embora existam diversas formas de construção de tais antenas, optou-se neste trabalho pela configuração capacitiva-indutiva uma única espira, com acoplamento indireto (indutivo) ao transceptor, figura 1.

No esquema da figura 1, a antena é composta por duas espiras condutoras, sendo a interna responsável por acoplar indutivamente o sinal oriundo do transceptor. A espira externa forma um circuito LC paralelo (“tanque”) sintonizado. A razão entre os raios R e r é igual a 5.

A radiação do sinal ocorre por meio do *loop* exterior, quando excitado por um sinal de RF na frequência de ressonância do circuito tanque formado.

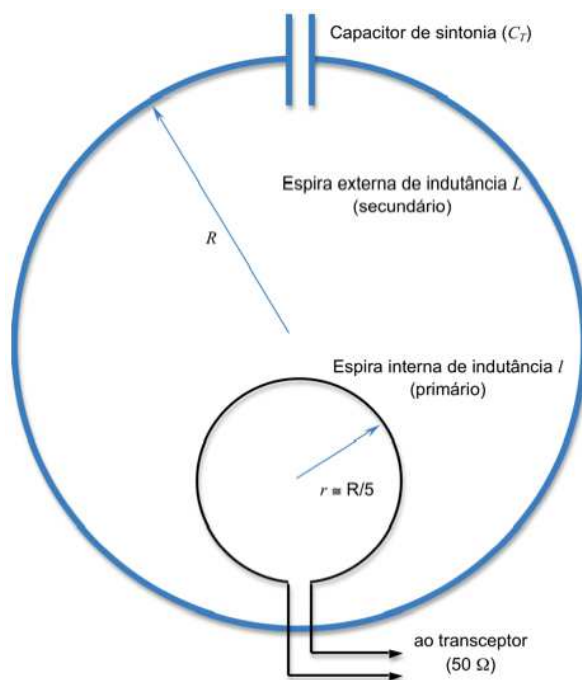


Figura 1: Antena *loop* com acoplamento indutivo.

Pode-se demonstrar que uma antena *loop* com formato circular, confeccionada com uma espira externa de cobre (secundária), de raio médio R e cujo condutor apresente diâmetro d , apresentará os seguintes parâmetros [1]:

$$L = 1,9 \times 10^{-7} S \left[7,353 \log \left(\frac{96 \cdot S}{\pi \cdot d} \right) - 6,386 \right] \quad (1)$$

$$X_L = 2\pi f L \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

$$R_s = 3,38 \times 10^{-8} \pi^2 R^2 f^4 \quad (3)$$

$$R_r = 9,96 \times 10^{-6} \frac{S \sqrt{f}}{d} \quad (4)$$

$$Q = \frac{X_L}{2(R_s + R_r)} \quad (5)$$

$$\Delta f = \frac{10^6 \cdot f}{Q} \quad (6)$$

¹Sakamoto, B. F. R. sakamoto@ita.br; ²Castellani, F. H. ensmod6ch@cige.eb.mil.br. Tel.: +55 61 3415-3441.

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_l} \quad (7)$$

$$C_T = \frac{1}{2\pi f L \cdot 10^6} \quad (8)$$

$$V_C = \sqrt{X_L \cdot P \cdot Q} \quad (9)$$

$$C_D = 0,882 \cdot S \quad (10)$$

onde: L é a indutância da antena, em Henry (H); S é o perímetro médio do *loop* externo, em pés (ft); X_L é a reatância indutiva, em Ohms (Ω); f é a frequência de operação, em Megahertz (MHz); R_r é a resistência de radiação, em Ohms (Ω); R_l é a resistência de perdas ôhmicas, em Ohms (Ω); Q é o fator de qualidade ou de mérito; Δf é a largura de banda, em Hertz (Hz); η é a eficiência da antena (%); C_T é a capacitância de sintonia do *loop*, em Farads (F); V_C é a tensão induzida sobre o capacitor de sintonia, em Volts (V); e C_D é a capacitância distribuída ao longo do *loop*, em picofarads (pF).

A formulação apresentada nas equações de (1) a (10) foi empregada sistematicamente na simulação do modelo adotado. Os resultados da simulação são apresentados no item II deste trabalho.

As antenas *loop* apresentam em tese as seguintes vantagens [2]:

- Forte rejeição à interferência produzida por canais adjacentes, devido ao elevado fator de mérito Q ;
- Tamanho físico relativamente reduzido;
- ajuste capacitivo do fator de ondas estacionárias;
- possibilidade de operação a baixa altura do solo;
- desnecessidade de emprego de contrapesos de $\frac{1}{4}$ de onda.

Por outro lado, enumeram-se as seguintes desvantagens no seu emprego:

- Necessidade de sintonia a cada mudança de frequência;
- perdas consideráveis no acoplamento entre o primário e secundário;
- consideráveis perdas ôhmicas na espira primária;
- baixa eficiência nas atividades de busca de interceptação de sinais;
- operação com potência de RF reduzida, devido à alta tensão gerada no secundário.

II – SIMULAÇÕES REALIZADAS

O modelo adotado foi simulado em computador, obtendo-se dentre outros dados, o diagrama de radiação e os parâmetros gerados

pelas equações de (1) a (10). Para a realização dos cálculos, foram adotados os seguintes valores e grandezas:

- Perímetro médio (S) do *loop* externo (radiante): 490 cm;
- Perímetro do *loop* de acoplamento: 90 cm;
- Frequência de operação: 23 MHz;
- Capacitância de sintonia (C_T): 15 pF

A figura 2 ilustra o diagrama de radiação da antena, gerado no *software* de simulação MMAna™ [3].

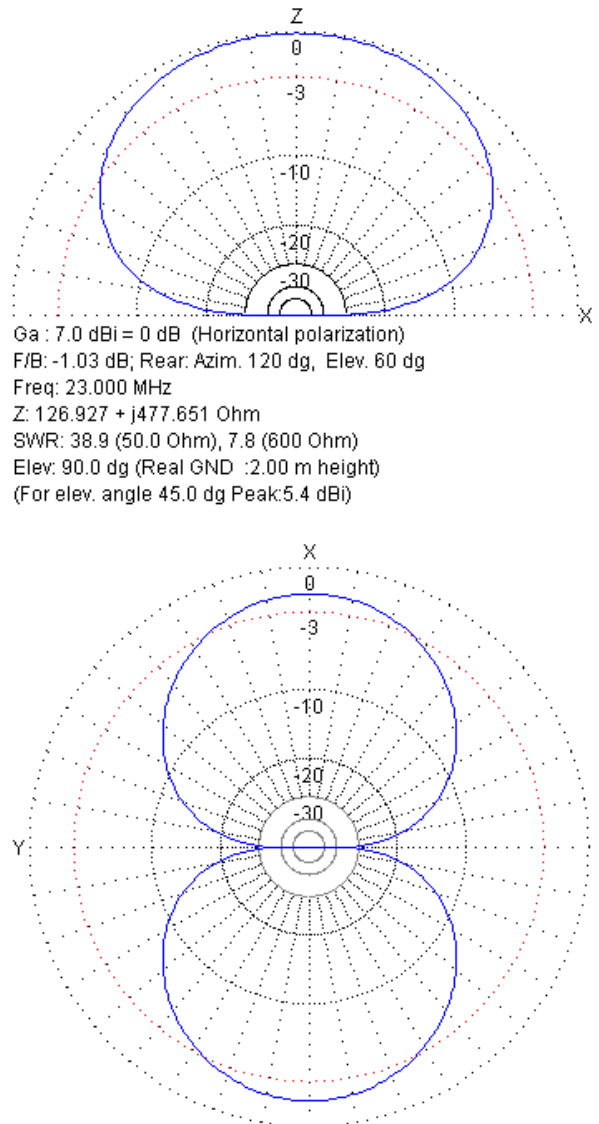


Fig. 2: Diagrama de radiação da antena *loop*; plano x - z (elevação) e plano x - y (azimutal), respectivamente.

Observa-se na figura 2 os nulos pronunciados e ambíguos no plano azimutal, bem como os elevados valores de elevação do sinal radiado. Tal característica sugere uma suposta propensão de emprego da antena em enlaces ionosféricos; tal possibilidade, entretanto, não foi avaliada neste estudo.

Os parâmetros da antena foram simulados no *software* RJLOOP [4], que emprega a exatamente formulação apresentada no item anterior. Os dados adicionais introduzidos no programa foram a potência de RF do transceptor, P , igual a 20 W; e a altura da antena em relação ao solo, 2 m. O resultado da simulação está ilustrado na figura 3, na qual se observa um *screenshot* do RJLOOP.

O capacitor de sintonia do circuito ressonante foi construído com placas de circuito impresso em cobre, com dielétrico de fenolite. A capacitância medida foi de 15 ± 2 pF, de forma que o conjunto ressonasse na frequência de 23 MHz (Fig. 5).

Toda a estrutura da antena foi sustentada em um tubo de PVC de 50 mm.

```

D:\CDCOMC~1\Antenas\LOOPMA~1\rjloop1.exe
S. Shape of loop ..... CIRCLE
P. Perimeter or circumference of main loop, metres . 4.90
D. Diameter of loop conductor, mm ..... 19.0
H. Height of lowest part of loop above earth, metres 2.0
F. Frequency of operation, megahertz ..... 23.000
T. Transmitter output power, watts ..... 20.0

Electrical length of loop ... 0.376 wavelengths at operating freq.
Inductance of main loop .... 4.40 micro-henrys
Coupling loop diameter ..... 0.34 metres to match to 50-ohm feeder
Turns ratio on coupling xfmr. 3.5 to 1
Tuning capacitor setting .... 5.3 pico-farads at resonance
Current in main loop ..... 2.2 amperes rms, opposite capacitor
Voltage across capacitor .... 1566 peak volts

Q when transmitting ..... 157
Transmitting bandwidth ..... 146.3 kilo-hertz between 3dB points
Radiation resistance ..... 3.9313 ohms distributed around loop
Conductor RF loss resistance 0.1031
Ground proximity losses .... 0.0093
Transmission efficiency ..... 97.22 percent of power input
Loss relative to ideal loop . 0.1 dB = 0.0 "S"-points

Select S,P,D,H,F,T to change input data, R(e-start) or Q(uit program) ..
  
```

Figura 3: Resultados da simulação no RJLOOP.

Nota-se na figura 3 que o rendimento teórico do sistema atinge 97%. Tal valor não está relacionado às perdas no acoplamento entre as espiras, mas expressa tão-somente a conversão da energia induzida no circuito ressonante L-C em sinais de RF.

III – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

a. Protótipo construído

O protótipo sob teste foi construído com tubo metálico de cobre de 2 mm de diâmetro. Adotou-se o formato circular, com perímetro do anel externo de 490 cm e perímetro do anel interno de 90 cm, figura 4.



Figura 4: Vista do protótipo construído.



Figura 5: Capacitor de sintonia C^T e sua conexão ao *loop*.

b. Setup dos testes

A figura 5 ilustra o dispositivo empregado para a realização das medições.

Para excitar o conjunto empregou-se um transceptor XR3060H *manpack* (M3TR) da Rohde&Schwarz, com potência máxima de 20 W de saída de RF em CW. O rádio operou em conjunto com um medidor de potência e ROE analógico, figura 6. Para aferir a potência do sinal captado pela antena de referência, empregou-se um medidor de potência Agilent N1912A, sintonizável.

As conexões entre os equipamentos e as antenas foram feitas com cabo coaxial RG-58.

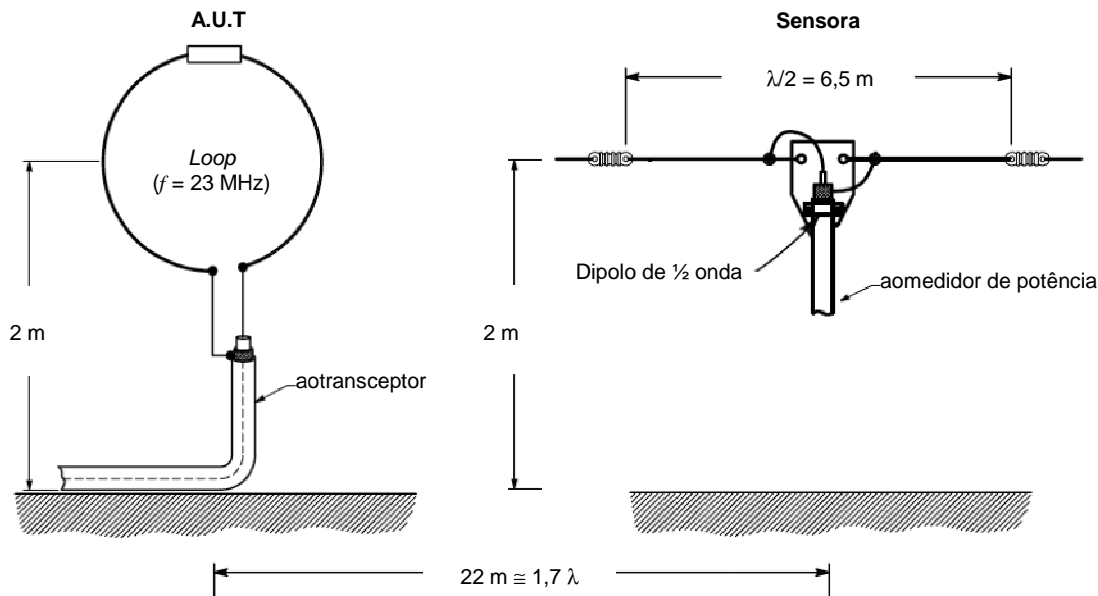


Figura 5: Setup dos testes.

Foram realizadas duas rodadas de medições, a saber:

i) inicialmente, empregou-se duas antenas dipolo, idênticas, ambas sintonizadas em 23 MHz. Uma dessas antenas permaneceu fixa como sensora para os testes. Foram feitas medições da intensidade do sinal captado pela antena sensora, a partir de três faixas de valores de potência de RF aplicadas na antena dipolo de referência;



Figura 6: Transceptor XR3060H.

ii) Em seguida, substituiu-se a dipolo de referência pela antena loop (AntennaUnderTest - AUT), de forma que o seu desempenho como radiante fosse expresso de forma razoétrica em relação ao comportamento apresentado pela antena dipolo. Essa comparação é importante operacionalmente, haja vista que a maioria dos enlaces em HF empregados em campanha emprega algum tipo de dipolo horizontal e suas variantes.

c. Resultados experimentais

As seguintes medições foram obtidas com o emprego da antena loop, considerando idênticas condições de operação adotadas na medição com a antena dipolo de referência (Tab. 1 a 3):

TABELA 1: MEDIÇÕES COM A ANTENA DIPOLO (REFERÊNCIA)

Patamar de ruído	Potência do sinal captado*	Potência do sinal no transceptor	
		Transmitida: 4 W Refletida: 0,5 W	Total: 3,5 W
-29,4 dBm	-26,3 dBm	Transmitida: 10 W Refletida: 1 W	Total: 9 W
-29,4 dBm	-24,6 dBm	Transmitida: 17 W Refletida: 2,5 W	Total: 14,5 W

* Sinal medido na antena dipolo sensora

TABELA 2: MEDIÇÕES COM A ANTENALOO (NULOSPÉNDICULARES AO PLANO DA DIPOLO SENSORA)

Patamar de ruído	Potência do sinal captado*	Potência do sinal no transceptor	
		Transmitida: 4 W Refletida: 0,5 W	Total: 3,5 W
-30dBm	-28,7dBm	Transmitida: 8,5 W Refletida: 0,5 W	Total: 8 W
-29,4 dBm	-27,6dBm	Transmitida: 16 W Refletida: 1,5 W	Total: 14,5 W

* Sinal medido na antena dipolo sensora

TABELA 3: MEDIÇÕES COM A ANTENA LOOP (NULOS PARALELOS AO PLANO DA DIPOLO SENSORA)

Patamar de ruído	Potência do sinal captado*	Potência do sinal no transceptor	
		Transmitida: 4 W Refletida: 0,5 W	Total: 3,5 W
-29,5dBm	-23,4dBm	Transmitida: 8,5 W Refletida: 0,5 W	Total: 8 W
-29,5dBm	-20,7dBm	Transmitida: 16 W Refletida: 1,5 W	Total: 14,5 W

* Sinal medido na antena dipolo sensora

Na figura 7 está ilustrado o gráfico obtido a partir das tabelas 1 a 3 (normalizados), na qual percebe-se visualmente o ganho em eficiência de transmissão da antena *loop* magnético em relação a antena dipolo de $\frac{1}{2}$ onda ordinária.

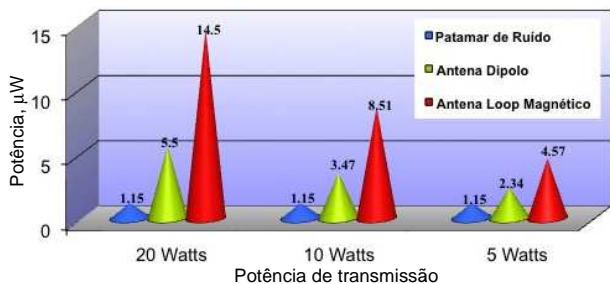


Figura 7: Gráfico comparativo entre a eficiência de transmissão da antena *loop* magnético e adipolo de $\frac{1}{2}$ onda (referência). O eixo vertical indica a potência média do sinal mensurado na antena sensora, em μW .

IV – CONCLUSÕES

Em face dos resultados práticos verificados no item anterior, é razoável afirmar que antena estudada possui um razoável ganho de *performance* na eficiência de transmissão em relação a antena dipolo de $\frac{1}{2}$ onda. Observou-se ganhos de até 4 dB entre o sinal induzido na antena sensora pela *loop* e aquele gerado pela dipolo de referência (ver Tabelas 1 a 3).

As medições foram realizadas em campo próximo ($< 10\lambda$), e os erros comuns nesse tipo de medição, como reflexões e irregularidade do piso, foram desconsiderados.

Os resultados obtidos confirmam o fato de que antenas *loop* magnético têm sido cada vez mais utilizadas por radioamadores, que enfatizam o desempenho superior apresentados por esses sistemas radiantes, aliados ao pequeno tamanho físico e relativa portabilidade. A figura 8 ilustra um exemplo de antena *loop* magnético comercial, para finalidades amadorísticas [5]. Segundo o fabricante, o dispositivo cobre a faixa de frequências contínua de 7 a 29,5 MHz, com potência máxima utilizável de 10 watts AM/FM e 20 watts SSB. O peso total da antena é de 1.200 g, o comprimento total da antena é 118 cm e o diâmetro do *loop* secundário é de 96 cm.

O emprego de antenas *loop* é relatado também em aplicações militares, montadas em viaturas sobre rodas [6]. A figura 9 ilustra este tipo de utilização, na configuração de meio *loop*.

Em [7], FYKSE (LA6NCA) relata que em distância inferiores a 200 km, o desempenho de um antena *loop*, como a estudada neste trabalho, foi melhor ou tão bom quanto o de uma dipolo de $\frac{1}{2}$ onda convencionalmente empregada em campo. No protótipo desenvolvido pelo referido

autor, a montagem da antena *loop* foi feita sobre o teto de uma viatura militar de emprego múltiplo, Fig. 10.



Figura 8: Antena *loop* Magnética comercial.



Figura 9: Antena *loop* comercializada pela ATLASTELECOM™, para emprego tático.



Figura 10: Fyксе e sua antena *loop*.

Em vista do que foi mensurado nos testes e nas experiências relatadas por diversos autores, o emprego de antenas do tipo *loop* magnético em enlaces de comunicações em HF parece ser bem promissor, em substituição ainda que parcial às antenas dipolo e antenas verticais veiculares. Testes envolvendo distâncias maiores serão objeto de publicações futuras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Instrução de Guerra Eletrônica pelo apoio prestado no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARRL. **The ARRL Antenna Handbook**. 20 ed. New York: ARRL, 2007.
- [2] GRIMBERG, Alexandre. Disponível em : <<http://hps.infolink.com.br/py1ahd/>>. Acesso em 15 abr. 2009.
- [3] -----, MMANA AntennaModellingProgram. **Antenna Design**. Disponível em <<http://www.smeter.net/antennas/mmana.php>>. Acesso em 15 abr. 2009.
- [4] -----, **Single-Turn Transmitting Loop Antennas of Various Regular Shapes**. Disponível em <http://www.smeter.net/antennas/single-turn-loop.php>. Acesso em 15 abr. 2009.

[5] GRIMBERG, Alexandre. Disponível em : <<http://hps.infolink.com.br/py1ahd/images/antena01.jpg>>. Acesso em 15 abr. 2009.

[6] ATLAS TELECOM. HF Half Loop Antenna. Disponível em <<http://www.atlastelecom.ae/products.asp?cat=Antennas&name=HF+Half+Loop+Antenna&id=198>>. Acesso em 15 abr. 2009.

[7] FYKSE, Helge. **LA6NCA radio station, Larvik Norway**. Disponível em <<http://www.laud.no/la6nca/loop/>>. Acesso em 15 abr. 2009.

OS AUTORES

Braulio Fernando R. Sakamoto é oficial da arma de Comunicações, formado pela Academia Militar das Agulhas Negras em 2001. Possui os cursos básicos de Guerra Eletrônica do Exército e da Força Aérea Brasileira, é Mestre em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, área de Microondas e Optoeletrônica, e atualmente desempenha a função de instrutor no Centro de Instrução de Guerra Eletrônica do Exército, em Brasília – DF.

Fernando Henrique Castellani é oficial da arma de Comunicações, formado pela Academia Militar das Agulhas Negras em 2004. Possui o curso básico de Guerra Eletrônica do Exército e atualmente desempenha a função de instrutor no Centro de Instrução de Guerra Eletrônica do Exército, em Brasília – DF.