

# APLICAÇÕES DO SIMULADOR DE AMEAÇA TS-100+ (EXCALIBUR) EM EQUIPAMENTOS DE MEDIDAS DE APOIO À GUERRA ELETRÔNICA DE NÃO-COMUNICAÇÕES DE INTERESSE DO EXÉRCITO BRASILEIRO

Ezequiel, S. B., Olympio, L. C., Euphrásio, P. C. S.  
Centro Integrado de Guerra Eletrônica, Estrada Parque do Contorno, BR 020 - km 05, Brasília - DF

**Resumo** — Diante de um ambiente eletromagneticamente denso de sinais radar, qualquer ação de Guerra Eletrônica (GE) necessita de uma preparação adequada para seu sucesso. Sendo assim, a simulação/emulação de sinais radar é uma ferramenta muito útil que certamente poderia auxiliar no aprimoramento dos conhecimentos do ramo das Não-Comunicações (NCom), especialmente para o Exército Brasileiro. Nesse sentido, o Simulador de Ameaça TS-100+ (Excalibur) poderia ser amplamente empregado em avaliações técnicas, operacionais e em treinamentos de equipamentos de Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE) de NCom de interesse da Força Terrestre Brasileira, face a sua grande capacidade de gerar sinais radar, com os mais variados parâmetros. Dessa forma, os testes de aceitação seriam melhor realizados e as instruções de GE teriam um ganho operacional considerável.

**Palavras-chaves** — Exército Brasileiro, Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE), TS-100+ (Excalibur), Não-Comunicações (NCom), radar.

## I. INTRODUÇÃO

Sun Tzu, estrategista filósofo chinês em conflitos armados, expôs uma definição bem apropriada sobre a guerra, a qual deve ser baseada nos princípios de inteligência, da indução ao erro e do conhecimento das intenções do inimigo [1]. As doutrinas militares modernas também atribuem uma grande importância às atividades de inteligência. A informação é um produto chave no campo de batalha. Os Serviços de Inteligência Militar podem fornecer informações vitais e essencialmente necessárias para uma vitória sem muitas perdas e de forma esmagadora. Um dos seguimentos da Inteligência Militar, a Inteligência de Sinais, inter-relaciona-se com as atividades de Guerra Eletrônica (GE). Já há algum tempo, alguns países descobriram uma forma de multiplicar seu poder de combate através da GE, praticando assim esses conceitos anteriormente proferidos por Sun Tzu.

Com o amplo emprego de sistemas radar na II Guerra Mundial (II GM), principalmente pelos ingleses, para prover alerta antecipado de aproximação de aeronaves inimigas, as atividades de GE encontraram um novo desafio, pois, até aquele momento, estavam voltadas para o ramo das Comunicações (Com) [2]. Diante desse novo cenário de emprego de sinais eletromagnéticos, precisava-se desenvolver meios e doutrinas voltadas para o ramo das

NCom. Foi assim que surgiram os conceito de ESM (*Electronic Support Measures*) NCom, dentro de um contexto operacional, e o de ELINT (*Electronic Intelligence*), em um contexto estratégico.

Muitos equipamentos para a recepção de sinais radar surgiram a partir de então, os quais realizam as internacionalmente conhecidas MAGE. Entretanto, diante de cenários densos de sinais radar, faz-se necessário um melhor preparo, caso haja o interesse de se realizar GE com efetividade, tanto em tempo de paz, como de guerra. A aquisição e/ou o desenvolvimento de equipamentos de MAGE, bem como a capacitação operativa de recursos humanos nessa área, precisa de meios para suprir essa necessidade apresentada.

Uma proposta extremamente viável para atender a essa demanda é o uso de ferramentas de simulação/emulação de sinais radar. O equipamento que poderia ir ao encontro dessa idéia é o Simulador de Ameaça TS-100+ (Excalibur), pertencente à Força Aérea Brasileira e que se encontra disponível para tal.

Para o melhor entendimento sobre as aplicações do TS-100+, faz-se necessário uma abordagem sobre os parâmetros técnicos mais importantes de um radar a serem usados na simulação/emulação, sobre alguns aspectos dos sistemas de MAGE NCom a serem alvo de avaliação e sobre o funcionamento do TS-100+. Ao final, serão apresentados resultados de testes laboratoriais e uma avaliação técnica desses resultados que fornece argumentos suficientes para indicar as possíveis aplicações do TS-100+ no âmbito do Exército Brasileiro.

## II. PARÂMETROS TÉCNICOS DE UM RADAR

Através de análise de parâmetros técnicos de um radar, um militar de GE pode estimar, com boa probabilidade de sucesso, qual é o radar que foi interceptado por seu sistema de MAGE e indicar qual seu provável emprego operacional. Por isso, o estudo desses aspectos é muito importante.

Existem basicamente dois tipos de radares: os de onda contínua (CW) e os pulsados [3]. Para efeito de objetividade, apenas os pulsados serão considerados. Sobre estes últimos, três parâmetros são mais relevantes para a configuração da emulação de radares no TS-100+: antena, pulso e faixas de frequência de operação.

### A. Parâmetros da antena radar

As informações mais relevantes sobre as antenas empregadas em equipamentos radar e que serão inseridas nas configurações dos sinais emulados são:

- 1) **Polarização:** variação no tempo da direção e amplitude do vetor campo elétrico. Pode ser linear (horizontal, vertical ou inclinada) ou circular (para esquerda ou direita) [4].
- 2) **Diagrama de radiação:** comportamento da emissão do sinal em função do azimute e elevação considerados. Esse comportamento não é uniforme para todas as direções, formando lóbulos com maior potência e direção preferencial de radiação (principal), ângulo de meia potência (limitam a largura do feixe principal de radiação) e existência de lóbulos com menor potência (secundários), conforme ilustra a Fig. 1.

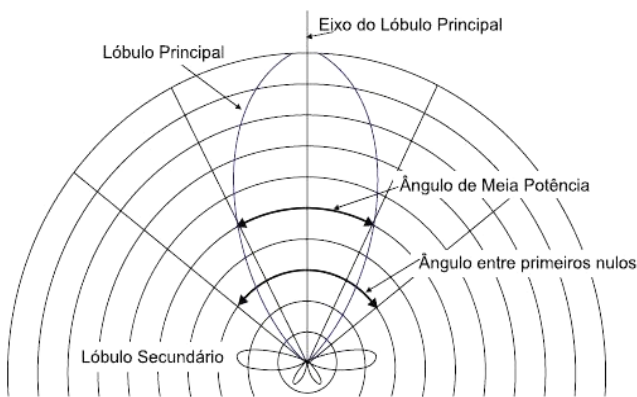


Fig. 1. Diagrama de radiação polar de uma antena radar.

- 3) **Taxa e tipo de varredura:** padrão de busca, acompanhamento e/ou direcionamento bélico de alvos realizado pelo radar. As taxas de varreduras são usualmente medidas em RPM (rotações por minuto). Como exemplos de tipos de varreduras, pode-se citar a circular, setorial, cônica, dentre outras.

### B. Parâmetros do pulso radar

O pulso pode ser observado e analisado no domínio do tempo e no domínio da frequência. Nesses domínios, os aspectos do pulso radar mais importantes a serem observados são os seguintes:

- 1) **IRP (intervalo de repetição de pulso):** é o período de tempo ou intervalo entre a transmissão de dois pulsos radar [4]. A FRP (frequência de repetição de pulso) lhe é inversamente proporcional.
- 2) **LP (largura de pulso):** tempo em que o transmissor emite durante um ciclo de operação [4].
- 3) **Largura de faixa:** região na qual as componentes espectrais que compõem o sinal possuem as amplitudes mais significativas, estando a maior parte da potência do sinal concentrada dentro dessa faixa espectral.
- 4) **Potência de pico e potência média:** a potência de pico refere-se à energia do sinal radiada no meio. Quando se considera um ciclo de operação do radar, tem-se então a potência distribuída no tempo, que corresponde à potência média.

- 5) **Modulação intrapulso:** é uma técnica muito utilizada por radares com baixa probabilidade de interceptação (*LPI*) que consiste em transmitir um pulso de baixa potência de pico, mas de longa duração, o qual contenha, por exemplo, um código de “n” elementos de duração. Esse processo permite que o receptor reconheça os elementos do código, realinhe-os em instantes de tempo, adicione-os coerentemente e gere um pulso de saída caracterizado pela intensidade elevada e pela duração igual à duração do elemento do código. Pode ser modulado em frequência ou em fase [5].
- 6) **Agilidade de frequência de operação, LP, IRP e/ou FRP:** variação aleatória ou pseudo-aleatória desses parâmetros. Existem diversas maneiras de se realizar agilidade. Dentre as mais comuns, tem-se a *Jitter* (variação aleatória) e a *Stagger* (variação pulso a pulso segundo um modelo periódico).

### C. Faixas de frequência

Atualmente, já existem radares na faixa de alta frequência (*High Frequency – HF*), os chamados Radares Além do Horizonte (*Over the Horizon Radar – OTHR*) [8], que operam com ondas métricas, e outros na faixa de frequência extremamente alta (*Extremely High Frequency – EHF*), que operam com ondas milimétricas. Mas a maior parte dos radares em operação no mundo encontra-se na faixa de frequência comumente chamada de microondas. A Tabela I mostra as faixas de frequências de microondas e a correspondente banda de uso para radares definidas pela União Internacional de Telecomunicações – UIT [3].

TABELA I Extrato da designação de faixas e bandas de frequências para radares definidas pela UIT.

DESIGNAÇÃO DE FAIXA E BANDA	FAIXA DE FREQUÊNCIA NOMINAL (GHz)	
	FAIXA	BANDA
UHF – <i>Ultra High Frequency</i> (frequência ultra alta)	-	0,3 a 1
	L	1 a 2
	S	2 a 4
SHF – <i>Super High Frequency</i> (frequência super alta)	S	2 a 4
	C	4 a 8
	X	8 a 12
	Ku	12 a 18
	K	18 a 27
EHF – <i>Extremely High Frequency</i> (frequência extremamente alta)	Ka	27 a 40
	V	40 a 75
	W	75 a 110
	mm	110 a 300

### III. ASPECTOS IMPORTANTES A SEREM AVALIADOS EM UM RECEPTOR DE GE

As MAGE NCom são baseadas na coleta de informações provenientes da análise de sinais transmitidos por sistemas radar ou outros transmissores de não-comunicações [6]. Várias são as características que modelam sistemas de MAGE NCom, porém, para a avaliação proposta

através do TS-100+, apenas algumas características serão abordadas na sequência.

#### A. Antenas de interceptação e de determinação de direção (*direction finding - DF*)

Uma antena muito empregada em aplicações de interceptação é a omnidirecional porque tem a característica de responder bem, numa média aproximadamente igual, a sinais de chegada de todas as direções de um considerado plano. No entanto, essa antena possui baixo valor de ganho, o que a torna inadequada, por exemplo, em receptores de alerta de presença radar (*Radar Warning Receivers – RWR*) [6].

Para resolver isso, tipicamente é usado um sistema de antenas diretivas fixas de feixe largo que, através de comparação de amplitude, pode prover a direção do sinal de chegada com grande probabilidade de interceptação (*Probability of Interception – POI*) [6].

Neste caso, a avaliação feita não seria propriamente da antena, mas é necessário que se saiba seus parâmetros para a modelagem dos testes.

#### B. Sensibilidade, seletividade, faixa dinâmica, largura de faixa e largura de faixa instantânea

A sensibilidade define a intensidade mínima que o sinal de entrada deve ter para produzir na saída do receptor um sinal de informação dentro de um padrão pré-estabelecido de qualidade [4]. A seletividade expressa a capacidade que um receptor tem de fornecer uma saída apropriada a um determinado sinal de entrada, mesmo quando estão presentes, simultaneamente, outros sinais fora da faixa de recepção [4]. A faixa dinâmica é definida como a capacidade do receptor em interceptar tanto sinais fracos como sinais mais fortes [4].

Já a largura de faixa, complementando o que já foi explicado anteriormente, é o intervalo de frequências em que um receptor tem a capacidade de detectar um sinal [4]. Considerando uma determinada frequência ou faixa de frequência na qual o receptor esteja sintonizado e efetivamente interceptando sinais num dado momento, tem-se a largura de faixa instantânea. Esta última está intimamente ligada com a POI do RGE.

Esses aspectos são importantíssimos na avaliação para a obtenção de um bom receptor de GE (RGE), contudo, são aspectos que precisam ser bem estipulados, tendo em vista o cenário de emprego do sistema de MAGE considerado.

#### C. Exatidão e precisão

Exatidão ou acurácia referem-se a diferença entre uma medição e o valor verdadeiro de um parâmetro, fator, dado ou informação considerada no experimento [7]. O desvio do valor verdadeiro conhecido é a indicação de quanto exato uma leitura pode ser realizada. Já a precisão específica a constância nos valores de uma certa quantidade de leituras, cada uma realizada independentemente com o mesmo instrumento. Uma estimativa da precisão é determinada pelo desvio da leitura em relação ao valor médio da população das leituras [7].

Boa exatidão e precisão são aspectos desejáveis em RGE e, portanto, também merecem ser cuidadosamente avaliados. Igualmente, vale ressaltar a definição do cenário

de emprego do RGE para o atendimento dos níveis de exigência necessários.

#### D. Tipos de receptores de GE

Existem diversos receptores com características específicas de emprego, diferenciando-os em complexidade, recursos técnico-operacionais, informações disponibilizadas e preços de mercado. Alguns exemplos de receptores de MAGE NCom: *Cristal Video Receiver (CVR)*, Superheteródino, *Instantaneous Frequency Measurement (IFM)*, Receptor Canalizado, Receptor Compressivo e Célula Bragg.

O estabelecimento de requisitos técnico-operacionais para a escolha de um desses receptores citados acima é um fator de grande relevância para o correto desenvolvimento ou aquisição do mesmo, visando cenários de interesse da Força Terrestre. O uso do recurso de simulação/emulação de sinais radar feito pelo TS-100+ fornece uma adequada ferramenta para avaliação desses requisitos.

### IV. CARACTERÍSTICAS DO TS-100+ (EXCALIBUR)

O TS-100+ é um gerador de sinais na faixa de microondas (0,5 a 18 GHz) controlado por um *software*, *Threat Builder*, capaz de executar desde tarefas como a emissão de sinais CW e pulsados simples, sem nenhuma característica especial, até a simulação/emulação de cenários eletromagnéticos complexos compostos de uma grande variedade de sinais radar. Esses sinais podem ser emitidos quase que simultaneamente e com parâmetros diversos, bem definidos e dotados de boa riqueza de detalhes.

O equipamento, mostrado na Fig. 2, pode ser acondicionado em caixas para facilitar o transporte e aumentar a segurança quanto a danos ao material. Sendo assim, o TS-100+ tem uma mobilidade considerável e torna-se perfeitamente útil em locais fora de laboratórios, o que lhe confere uma condição muito importante para testes de campo.

O *software Threat Builder* possui 09 aplicativos que gerenciam as configurações feitas pelos usuários e administradores do sistema, bem como executam os testes de funcionamento, a calibragem dos meios que compõem o sistema, o dinamismo dos cenários programados e as emissões dos sinais radar previamente estabelecidos.



Fig. 2. Visão geral do Simulador de Ameaça TS-100+ Excalibur. O TS-100+ possui dois modos de funcionamento:

- 1) *DOA (Direction of Arrive)*: esse modo permite a emissão de sinais de RF (radiofrequência), simulando a direção de chegada do sinal através de cabos ligados diretamente no receptor e dispensando o uso de antenas. É neste modo que são executados os cenários simulados.
- 2) *Radiado*: esse modo permite a emissão de sinais de RF via cabo de RF ou por meio de antenas.

## V. EMULAÇÃO DAS PLATAFORMAS RADAR E AVALIAÇÃO TÉCNICA

Nem sempre é possível dispor do sistema de MAGE operacional para uma dada atividade, como para o ensino de GE. Assim, a figura do analisador de espectro ganha importância, funcionando como um receptor. Além disso, até mesmo por ocasião dos testes para a verificação da operacionalidade de um equipamento de MAGE, torna-se interessante comparar os resultados encontrados com aqueles obtidos por um analisador de espectro. Por isso, buscou-se mostrar a importância de haver mecanismos (transmissores e receptores, como o TS-100+ e um analisador de espectro, respectivamente) para a verificação da condição operacional dos meios de MAGE disponíveis e quais são suas reais capacidades.

Portanto, foram feitas emulações no Laboratório de GE do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), ligando o TS-100+ a um analisador de espectro por meio de um cabo de RF, conforme a Fig. 3. Dessa forma, foram desconsideradas quaisquer variáveis externas e oriundas do ambiente no qual estavam inseridos os experimentos.

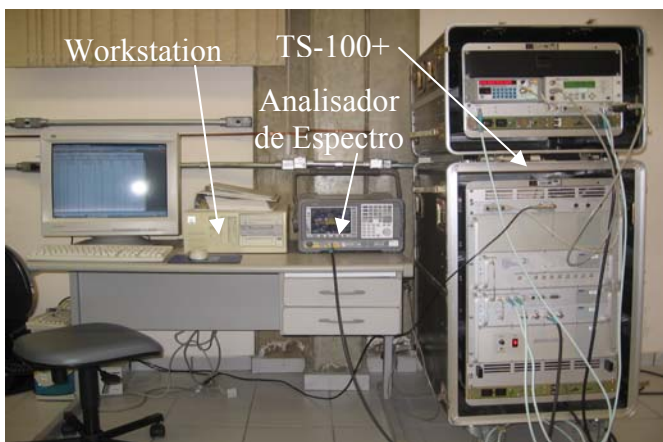


Fig. 3. Montagem dos dispositivos para os experimentos.

O objetivo dos testes era buscar validar a utilização do TS-100+ em atividades de ensino de GE e avaliação técnica de equipamentos de MAGE NCom, podendo se estender a uma avaliação operacional dos mesmos. Sendo assim, os testes foram:

- 1) *Comparação de ocupação de banda do sinal radar*: feito com dois sinais de LP diferentes, no qual se constatou que realmente o sinal com maior LP possui uma ocupação espectral menor.
- 2) *Execução e visualização de agilidade de frequência*: feito com uma variação *Stagger* de 10 frequências de operação, no qual se observou o correto e preciso surgimento das frequências anteriormente programadas, conforme mostra a Fig. 4.

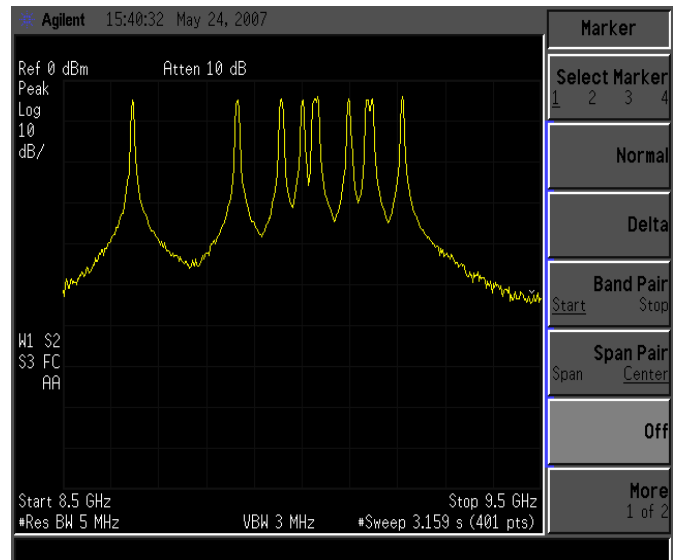


Fig. 4. Visualização das 10 frequências programadas para a agilidade de frequência de um radar, feita por observação de um dado período de tempo.

- 3) *Comparação de exposição de lóbulos secundários*: realizado através de um sinal gerado com os aspectos dos feixes horizontal e vertical da antena em  $Sinc$  e outro sinal em  $Sinc^2$ , no qual se percebeu a redução dos lóbulos secundários com os feixes em  $Sinc^2$ .
- 4) *Visualização de um pulso com modulação intrapulso*: realizado com uma taxa de 384,61538 Hz/ $\mu$ s, a qual seguia um padrão *ramp up* (rampa para cima) *Stagger*, ou seja, da menor frequência para a maior, de forma linear. A Fig. 5 mostra a banda de ocupação espectral resultante.

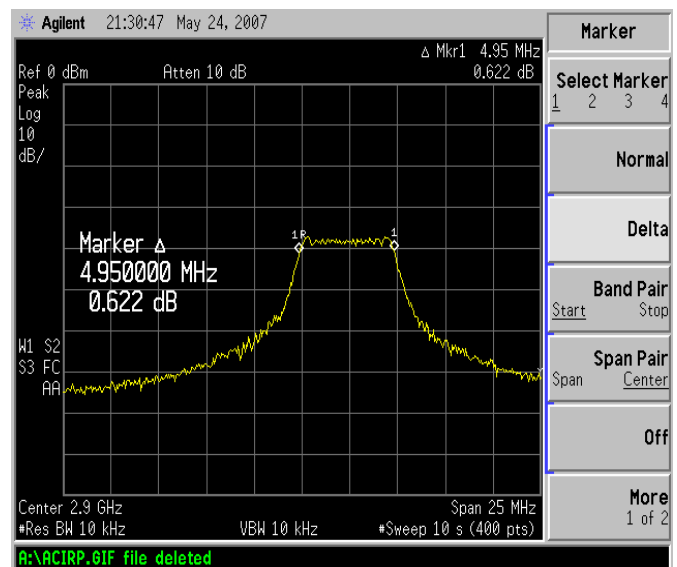


Fig. 5. Banda de ocupação do pulso com modulação intrapulso.

- 5) *Geração e execução de um cenário*: composto radares e RGE, viu-se um dinamismo de eventos programados, observando-se também a variação do sinal recebido pelo RGE devido à variação de distância do radar embarcado que estava realizando movimentos. A Fig. 6 mostra a tela apresentada ao usuário com um cenário em escala mundial.

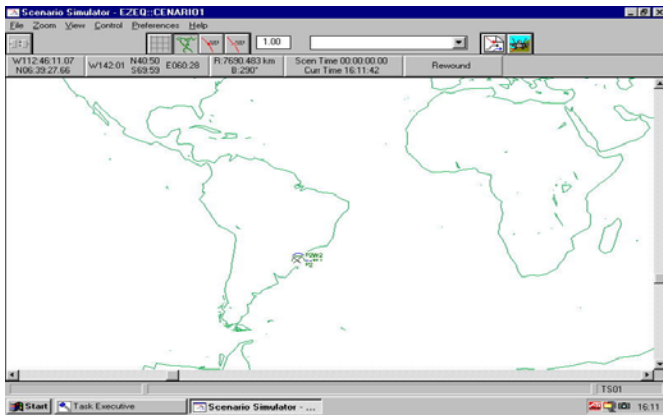


Fig. 6. Tela de apresentação de um cenário programado em escala mundial.

Baseado na observação dos experimentos pode-se avaliar que:

- O TS-100+ foi capaz de gerar sinais de microondas na principal faixa de operação de radares.
- Técnicas como agilidade de frequência, agilidade de FRP, modulação intrapulso por frequência, dentre outras foram muito bem executadas.
- As facilidades de configurações de tipos e taxas de varreduras e a possibilidade de definição de uma larga faixa de valores para os parâmetros de pulso permitem ao usuário do simulador/emulador a especificação de uma abrangente diversidade de tipos de radares.
- A simulação de diversos eventos em cenários com uma programação ampla também das plataformas aéreas, terrestres e fluviais que conduzem os radares e/ou os RGE foi outra importante e bem executada ferramenta disponibilizada.

Avaliando tecnicamente todos os eventos, pode-se dizer que o TS-100+ executou bem as emulações e a simulação do cenário. Todos os seus aplicativos e modos de operação funcionaram a contento. As emissões foram corretamente captadas pelo analisador de espectro e poderiam certamente ter o mesmo efeito em qualquer outro tipo de receptor, até porque o TS-100+ também opera por meio de radiação eletromagnética via antenas, o que permitiria testes de campo para se avaliar operacionalmente um equipamento de MAGE.

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O TS-100+ Excalibur pode vir a ser um equipamento de grande utilidade em instruções de Guerra Eletrônica de Não-comunicações para o Exército Brasileiro. O TS-100+ é capaz de gerar grande parte dos sinais de NCom existentes em um teatro de operações com as mais variadas configurações. Sendo assim, ele poderia ser utilizado em aulas expositivas de tal forma que os alunos pudessem observar o comportamento dos sinais em um analisador de espectro, realizando análises, tirando conclusões e ratificando os conhecimentos ministrados por outros meios de instrução. Em aulas práticas, os alunos poderiam configurar um radar no modo radiado do TS-100+ e visualizar as informações fornecidas por um receptor de MAGE de um sistema de GE disponível.

Outra forma de utilização do TS-100+ é através do seu modo DOA, no qual os alunos poderiam se valer da carta

digitalizada e das plataformas emissoras e receptoras inseridas em um cenário dinâmico, acompanhando a evolução do programa no teatro de operações. Estes recursos seriam muito úteis para o planejamento de missões de GE, estudo de casos, ou mesmo no apoio operacional para elementos de manobra, antevendo evoluções e emulações de possíveis cenários reais ainda a serem encontrados. Assim, o processo de ensino-aprendizagem seria atendido em praticamente todas as etapas necessárias exigidas para a formação de um guerreiro eletrônico.

Outra aplicação de grande importância do TS-100+ poderia ser por ocasião de aquisições de novos equipamentos de MAGE ou mesmo os seus desenvolvimentos. O TS-100+ seria de grande utilidade na fase de testes, sejam em laboratório ou em campo. O TS-100+ poderia ser perfeitamente empregado como emissor de sinais radar, onde já se sabe exatamente qual e como é o sinal de entrada no receptor. Desta forma, poder-se-ia comparar os dados fornecidos pelo fabricante com as informações apresentadas pelo equipamento testado, verificando quais informações atenderam aos requisitos especificados em contrato. Poder-se-ia ter uma fase de avaliação técnica e outra de avaliação operacional dos novos equipamentos.

Essas avaliações técnicas e operacionais também poderiam ser empregadas por ocasião da preparação dos meios de GE já adquiridos para uso em missões reais ou exercícios de campanha. O TS-100+ poderia servir para se verificar o comportamento do equipamento de GE diante dos possíveis emissores esperados, cujas bibliotecas foram previamente levantadas pelos órgãos de Inteligência.

Dessa forma, verifica-se que o uso da simulação/emulação de sinais radar feita pelo TS-100+ (Excalibur) mostrou-se uma ferramenta viável para aplicações em avaliação técnica e em ensino de GE no âmbito de interesse do Exército Brasileiro, indicando também a possibilidade de utilização do mesmo em avaliações operacionais de sistemas de MAGE NCom.

Cabe ressaltar ainda que o TS-100+ não é o único equipamento no mundo capaz de realizar todas essas tarefas apresentadas, mas é uma ferramenta já disponível no Brasil, como já citado anteriormente, e que proporcionaria até mesmo uma maior integração entre as Forças Armadas brasileiras.

## REFERÊNCIAS

- [1] Varshney, L. *Ground Surveillance Radars and Military Intelligence*, Technical Report. North Syracuse, NY, USA: Syracuse Research Corporation, December 2002. Disponível em: <<http://www.mit.edu/~lrv/cornell/publications/Ground%20Surveillance%20Radars%20and%20Military%20Intelligence.pdf>>. Acessado em 15 de março de 2007.
- [2] Oliveira, H. J. C. *Coletânea Histórica da Guerra Eletrônica*, volume II. Brasília, DF: Ministério da Defesa – Centro Integrado de Guerra Eletrônica, 2002.
- [3] Skolnik, M. *Radar Handbook – 2<sup>nd</sup> ed.* New York, NY, USA: MacGraw-Hill, 1990.
- [4] Brunt, L. B. V. *The Glossary of Electronic Warfare*. Dunn Loring, Va 22027, USA: EW Engineering, 1984.
- [5] Neri, F. *Introduction to Electronic Defense Systems – 2<sup>nd</sup> ed.* Norwood, MA, USA: Artech House, 2001.
- [6] Richard, G. W. *Electronic Intelligence: The Interception of Radar Signals*. Dedham, MA, USA: Artech House, 1985.
- [7] Wolf, S. Smith, R. F. M. *Student reference manual for electronic instrumentation laboratories*, p.32-33. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1990.