



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS

CAP COM JOÃO FERREIRA DA SILVA NETO

**CAPACIDADE DA COMPANHIA DE GUERRA ELETRÔNICA ORGÂNICA DO
9º BATALHÃO COMUNICAÇÕES E GUERRA ELETRÔNICA NO QUE TANGE
À DETECÇÃO DE SINAIS DE INTERESSE COM ESPALHAMENTO
ESPECTRAL POR SALTO DE FREQUÊNCIA**

**Rio de Janeiro
2020**



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS

CAP COM JOÃO FERREIRA DA SILVA NETO

**CAPACIDADE DA COMPANHIA DE GUERRA ELETRÔNICA ORGÂNICA DO 9º
BATALHÃO COMUNICAÇÕES E GUERRA ELETRÔNICA NO QUE TANGE À
DETECÇÃO DE SINAIS DE INTERESSE COM ESPALHAMENTO ESPECTRAL
POR SALTO DE FREQUÊNCIA**

Trabalho acadêmico apresentado à
Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais,
como requisito para a especialização em
Ciências Militares com ênfase em Guerra
Eletrônica.

**Rio de Janeiro
2020**



**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DECEx - DESMii
ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS
(EsAO/1919)**

**DIVISÃO DE ENSINO / SEÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO
FOLHA DE APROVAÇÃO**

Autor: **Cap Com JOÃO FERREIRA DA SILVA NETO**

Título: CAPACIDADE DA COMPANHIA DE GUERRA ELETRÔNICA ORGÂNICA DO 9º BATALHÃO COMUNICAÇÕES E GUERRA ELETRÔNICA NO QUE TANGE À DETECÇÃO DE SINAIS DE INTERESSE COM ESPALHAMENTO ESPECTRAL POR SALTO DE FREQUÊNCIA

Trabalho Acadêmico, apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, como requisito parcial para a obtenção da especialização em Ciências Militares, com ênfase em Guerra Eletrônica, pós-graduação universitária lato sensu.

APROVADO EM _____ / _____ / _____ CONCEITO: _____

BANCA EXAMINADORA

Membro	Menção Atribuída
DARDANO DO NASCIMENTO MOTA – Ten Cel Cmt Curso e Presidente da Comissão	
IVO LEANDRO BOTELHO LIMA - Cap 1º Membro e Orientador	
RODRIGO ADÃO DA SILVA - Cap 2º Membro	

JOÃO FERREIRA DA SILVA NETO – Cap
Aluno

CAPACIDADES DA COMPANHIA DE GUERRA ELETRÔNICA ORGÂNICA DO 9º BATALHÃO COMUNICAÇÕES E GUERRA ELETRÔNICA NO QUE TANGE À DETECÇÃO DE SINAIS DE INTERESSE COM ESPALHAMENTO ESPECTRAL POR SALTO DE FREQUÊNCIA

João Ferreira da Silva Neto*
Ivo Leandro Botelho Lima**

RESUMO

Este trabalho busca compreender qual é a capacidade que a Companhia de Guerra Eletrônica do 9ª Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica possui no tocante à detecção de sinais com Espalhamento Espectral por Salto de Frequência (FHSS). Para conseguir alcançar o objetivo do presente trabalho, irei abordar assuntos como: o que é Espalhamento Espectral (Spread Spectrum – SS); os tipos existentes de Espalhamento Espectral, abordando com maior ênfase o Espalhamento Espectral por Salto de Frequência; Sistema de Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica (MAGE), dando maior ênfase ao receptor do sistema; e largura de banda de receptores MAGE. Estes são os pontos necessários que eu devo elucidar para que a presente pesquisa consiga alcançar seu objetivo. Para tanto, o trabalho se pautará por meio de pesquisa bibliográfica e documental.

Palavras-chave: Espalhamento Espectral. FHSS. Sistema MAGE. Detecção.

ABSTRACT

This work seeks to understand what is the capacity that the Electronic Warfare Company of the 9th Battalion of Communications and Electronic Warfare has regarding the detection of signals with Spread Spectrum by Frequency Hopping (FHSS). In order to achieve the objective of this work, I will address issues such as: what is Spread Spectrum - SS; the existing types of Spread Spectrum, addressing with greater emphasis the Spread Spectrum by Frequency Hopping; Electronic War Support Measures System, giving greater emphasis to the system receiver; and bandwidth of MAGE receivers. These are the necessary points that I must elucidate for this research to achieve its objective. Therefore, the work will be guided by bibliographic and documentary research

Keywords: Spread Spectrum, FHSS, MAGE System. MAGE receivers. Detection.

* Capitão da Arma de Comunicações. Bacharel em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN) em 2011.

** Capitão da Arma de Comunicações. Bacharel em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN) em 2008. Mestre em Ciências Militares pela Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais (EsAO) em 2018.

1 INTRODUÇÃO

A informação tem um papel indispensável nas operações terrestres da era do conhecimento, a obtenção de informações oportunas tem relação direta com a qualidade do processo decisório e a aquisição da informação está profundamente ligada ao emprego da Guerra Eletrônica (GE), uma vez que a GE possui seu ramo de Medidas de Apoio de Guerra Eletrônico (MAGE), cujo objetivo é realizar a aquisição de dados do oponente a partir de suas emissões eletromagnéticas. (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2014).

O presente trabalho analisará acerca da detecção de sinais de interesse com espalhamento espectral por salto de frequência, com o intuito de identificar as capacidades do sistema MAGE, existente na Cia de GE do 9ª B Com GE.

Para tanto serão apresentados os diferentes tipos de Espalhamento Espectral, conhecido como *Spread Spectrum* (SS): o espalhamento por sequência direta (*Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS*), por saltos em frequência (*Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS*) e por saltos no tempo (*Time Hopping Spread Spectrum - THSS*).

Apesar de serem citadas todas as tecnologias de espalhamento espectral, o enfoque será o espalhamento espectral por salto em frequência, tendo em vista que esse é o tipo de espalhamento espectral de maior relevância nas aplicações militares, uma vez que é utilizado como tecnologia antiMAE (*anti-jamming*) e antiMAGE.

Após discorrer sobre as tecnologias de *spread spectrum*, será apresentado o sistema MAGE, que é o sistema responsável por fazer a detecção e aquisição de qualquer tipo de sinal de interesse, onde serão elucidados os componentes de um sistema MAGE, onde o principal foco será tratar a respeito dos receptores de um sistema MAGE, tendo em vista deles serem o essência do sistema.

Após apresentar as tecnologias de *spread spectrum*, focaremos a pesquisa no sistema MAGE, que é o responsável por fazer a detecção e aquisição de qualquer tipo de sinal de interesse. Nessa análise serão citados os componentes deste sistema, onde o ponto central será o receptor, que é a essência do sistema MAGE.

Por fim será constatada a real capacidade de detecção do sistema MAGE, da Cia de GE do 9ª B Com GE, frente à sinais de interesse com espalhamento espectral por salto de frequência.

1.1 PROBLEMA

No teatro de operações moderno, um grande problema encontrado no combate travado pela GE é a aquisição de sinais, visto que atualmente os equipamentos de comunicações militares são munidos de sinais com espalhamento espectral, ou seja, tecnologias antiMAE (*anti-jamming*) e antiMAGE.

Dentro desta realidade, surge a necessidade de um exército estar preparado tanto em equipamentos quanto em conhecimento para realizar aquisição de dados que trafegam através do espectro eletromagnético. (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2013).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é analisar a real capacidade na detecção de sinais com Espalhamento Espectral por Salto de Frequência, da Cia de GE do 9ª B Com GE.

A fim de se atingir o objetivo geral supracitado foram formulados os objetivos específicos abaixo:

- a. Mostrar como o Espalhamento Espectral por salto de frequência dificulta a aquisição de sinais de interesse;
- b. Abordar a importância do receptor MAGE para a detecção de sinais de interesse com *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS);
- c. Constatar a real capacidade de detecção do sistema MAGE, da Cia de GE do 9ª B Com GE, frente à sinais de interesse com espalhamento espectral por salto de frequência.

1.3 JUSTIFICATIVAS E CONTRIBUIÇÕES

Diante do exposto justifica-se analisar qual a melhor forma de fazer frente ao inimigo no campo da Guerra Eletrônica, dado que todo o sucesso de uma força no campo de batalha está intimamente interligado à sua aptidão na obtenção de informações para a produção de conhecimento, que serão fundamentais para a

tomada de decisão. Ou seja, há a necessidade de um exército ter a capacidade de realizar a detecção de sinais de interesse com espalhamento espectral por salto de frequência para que seja possível fazer frente à Força Oponente.

2 METODOLOGIA

Será realizado um estudo, cuja metodologia empregada será a pesquisa bibliográfica, analisando documentos e obras produzidas do ano de 2009 até os dias atuais com o intuito de abordar capacidades e limitações dos sistemas MAGE, no que tange à largura de banda para detecção de sinais com espalhamento espectral por salto de frequência.

Quanto à forma de abordagem do problema, foram utilizados os conceitos de pesquisa quantitativa, para chegar à conclusão de qual é a real capacidade de detecção do sistema MAGE, da Cia de GE do 9º B Com GE, baseado em uma análise dos dados numéricos constantes nos manuais dos equipamentos de GE e equipamentos de comunicações.

Quanto ao objetivo geral foi empregada a modalidade exploratória, levando em consideração o pouco conhecimento disponível acerca do assunto.

2.1 REVISÃO DA LITERATURA

Iniciamos o delineamento da pesquisa com a definição de termos e conceitos a fim de proporcionar a solução do problema da pesquisa, sendo realizada um estudo bibliográfico analisando documentos e obras produzidas no ano de 2009 até os dias atuais.

Foram utilizadas as palavras-chaves espalhamento espectral, salto de frequência, GE, MAGE, receptor, banda larga, FHSS, detecção de sinais, sistema MAGE, juntamente com seus correlatos em inglês em sítios eletrônicos de procura na internet, biblioteca de monografias da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais (EsAO), da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (ECEME) e do Centro de Instrução de Guerra Eletrônica (CIGE), sendo selecionados apenas fontes em português e inglês.

a. Critério de inclusão:

- Estudos publicados em português ou inglês relacionados à GE;

- Estudos e apresentações relacionadas à sinais especiais; e
- Estudos publicados em português ou inglês relacionados à detecção de sinais.

b. Critério de exclusão

- Estudos e relatórios sobre GE, cujo foco central seja do ramo de MAE.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção foi dividida pelo autor de modo a responder cada objetivo específico de forma separada e assim facilitar a compreensão do resultado obtido.

3.1 ESPALHAMENTO ESPECTRAL

Espalhamento espectral é um sinal de comunicações que possui um tipo de modulação especial, ele espalha seu espectro sobre uma ampla largura de banda. (ADAMY, 2009).

O espalhamento espectral como tecnologia de propósito militar, a princípio, teve seu preambulo na 2ª Guerra Mundial, onde houve o emprego de sistema com características antijamming, que faziam uso de alguns conceitos do que hoje conhecemos por Spread Spectrum (SS). (GUIMARÃES, 2014).

A técnica de Espalhamento Espectral decorre do produto entre um determinado sinal que carrega informação, onde a informação é convertida na forma bipolar, por um outro sinal que carrega uma sequência pseudoaleatória e que possui uma taxa de bits muito maior (conhecida por taxa de chips) que a taxa de bits da informação. O sinal proveniente dessa multiplicação é um sinal com espalhamento espectral, e possui uma largura de banda muito maior que o sinal inicial. (GUIMARÃES, 2014).

Anjos (2016) define o espalhamento espectral da seguinte forma: “é aquele que ocupa uma largura de faixa muito maior que a necessária. A largura de faixa ocupada é até certo ponto, independente da taxa de informação”.

A figura abaixo demonstra como é o processo de mudança de um sinal comum para um sinal com SS.

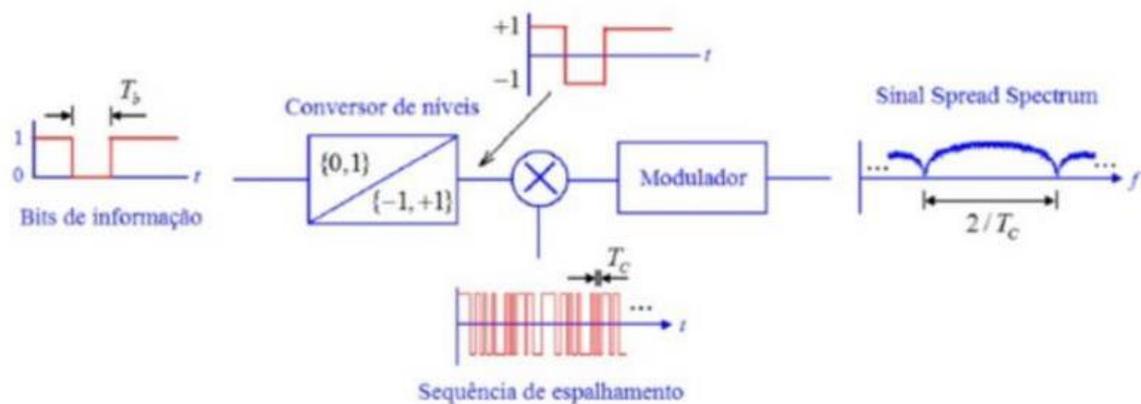


FIGURA 1 – Espalhamento Espectral
 Fonte: Guimarães (2014)

3.1.1 ATRIBUTOS DOS SINAIS COM ESPALHAMENTO ESPECTRAL

A baixa densidade de potência é primeiro atributo de um sinal com SS. A potência que seria emitida em uma determinada frequência, com uma certa largura de banda, acaba por ser dividida ao longo do sinal com espalhamento espectral, ou seja, em uma largura de banda muito maior do que a que seria realmente necessária para a irradiação do sinal. A figura abaixo ilustra perfeitamente o que foi descrito acima. (GUIMARÃES, 2014).

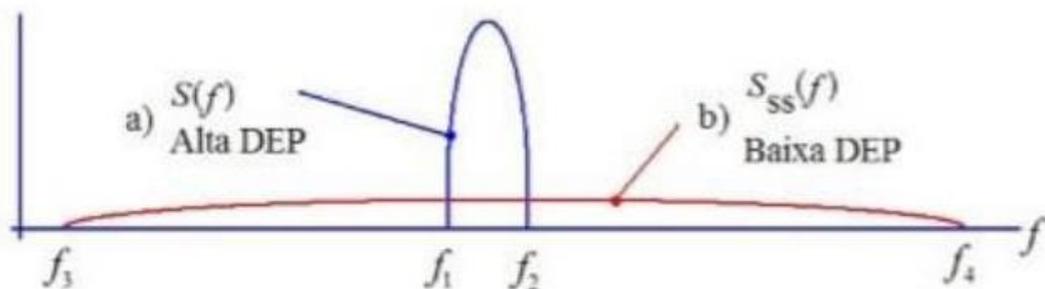


FIGURA 2 – Baixa densidade de potência
 Fonte: Guimarães (2014)

Essa redução da densidade de potência espectral propiciaria que o sinal de transmitido seja imerso dentro do ruído branco. Isso é de grande relevância para aplicações militares, pois um receptor de uma força oponente não seria capaz de captá-lo. O sinal seria identificado apenas como ruído. A figura a seguir ilustra precisamente este entendimento. (GUIMARÃES, 2014)

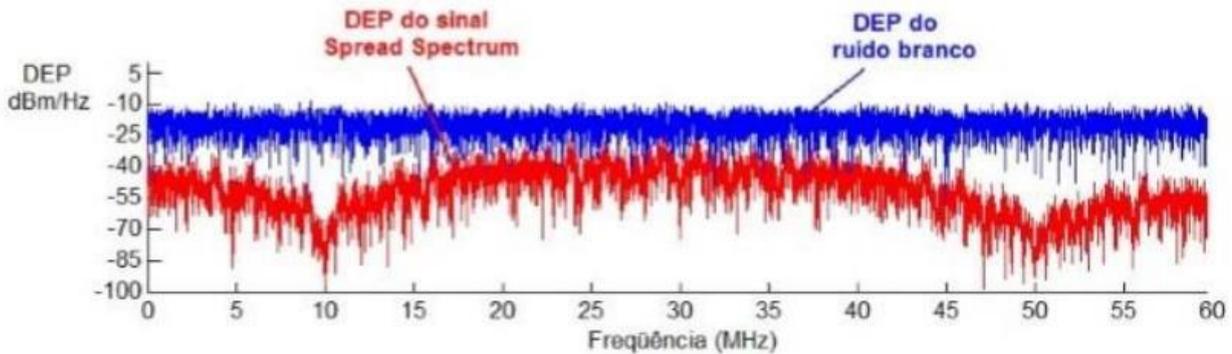


FIGURA 3 – Densidade espectral de potência
 Fonte: Guimarães (2014)

3.1.2 ESPALHAMENTO ESPECTRAL POR SALTO DE FREQUÊNCIA (FHSS)

Existem três formas de espalhamento espectral: Sequência Direta (DSSS), Salto de Frequência (FHSS) e Salto por Tempo (THSS). A técnica que é o escopo deste trabalho é a de FHSS, como já foi explicado anteriormente, ela é o método mais utilizado em aplicações militares, por isto é onde focaremos nossa presente pesquisa. (GUIMARÃES, 2014).

FHSS é quando o sinal emitido “salta” dentro de uma determinada largura de banda, para diferentes frequências de transmissão utilizando-se de uma ordem pseudoaleatória para a realização dos saltos. (GUIMARÃES, 2014).

A figura abaixo ilustra graficamente como seria a transmissão de um sinal munido de FHSS:

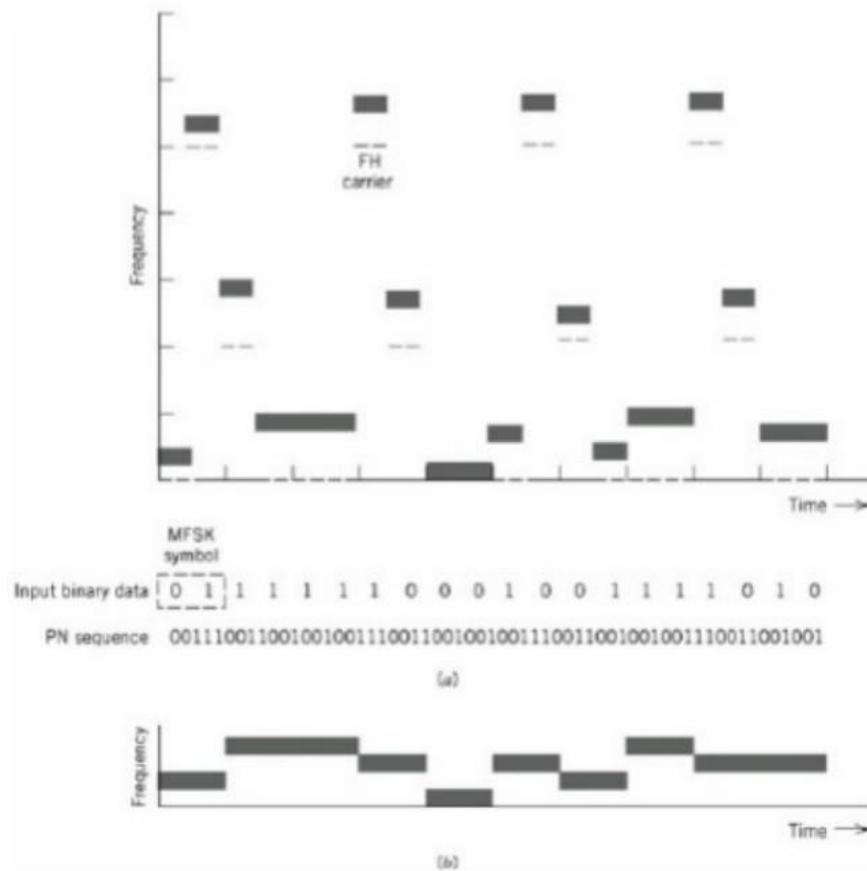


FIGURA 4 – FHSS

Fonte: Guimarães (2014)

3.1.3 EQUIPAMENTOS DO EXÉCITO BRASILEIRO MUNIDOS DE FHSS

Neste tópico apontarei alguns equipamentos que são utilizados pelo Exército Brasileiro (EB), e possuem a tecnologia de FHSS. Onde poderemos ressaltar alguns parâmetros relevantes ao escopo do trabalho.

O primeiro rádio a ser citado é o RF 7800 H – MP, da empresa Harris e família *Falcon III*. Este equipamento rádio possui a capacidade de realizar o FHSS em uma largura de banda máxima de 2 MHz. (OLIVEIRA, 2016).

Outro equipamento utilizado pelo EB, que também opera com FHSS é o RF 7800 M – MP, também da empresa Harris e família *Falcon III*. Este equipamento rádio possui a capacidade de realizar o FHSS no seu modo *Havequick* em uma largura de banda máxima de até 174,975 MHz. (OLIVEIRA, 2016).

3.2 SISTEMA MAGE

Agora abordaremos o sistema de Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica (MAGE), bem como conceitos importantes que são fundamentais para a

compreensão da pesquisa.

Um conceito amplo do que seria MAGE é apresentado pelo manual C34-1 como: “ramo da Guerra Eletrônica, de natureza passiva, que visa obter dados do oponente, a partir das emissões eletromagnéticas de interesse utilizadas pelo oponente.” (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2009).

Um sistema MAGE é composto por no mínimo uma antena, um receptor MAGE, um processador de DF (caso o sistema tenha capacidade de DF) e um display para operação do sistema. (CIGE, 2013).

Vide a figura abaixo:

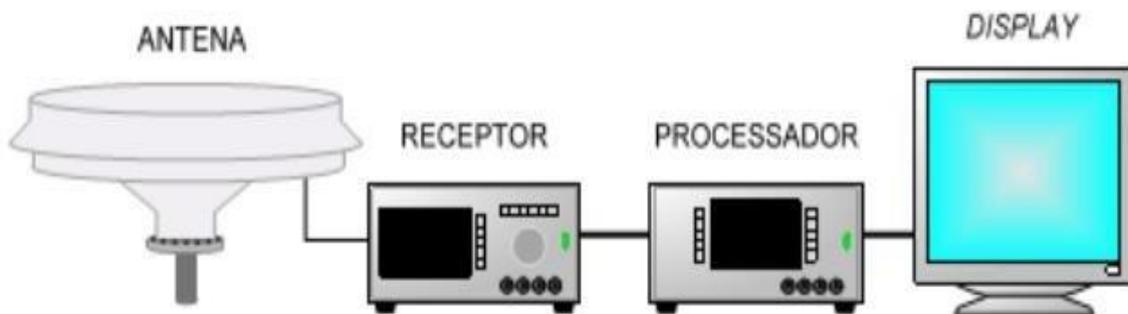


FIGURA 5 – Sistema MAGE
Fonte: Ferreira (2010)

Como já foi dito anteriormente, focaremos apenas no receptor do sistema MAGE, que é o cerne de nossa pesquisa.

Segundo Ferreira (2010), o conceito de receptor de GE (MAGE) é:

Receptores de GE são equipamentos que utilizados para buscar e interceptar sinais eletromagnéticos em diversas faixas do espectro, com a finalidade de fornecer o conteúdo e os parâmetros técnicos dos sinais captados. Esses equipamentos são utilizados para monitoração do espectro eletromagnético, tanto em situações táticas como estratégicas. Um receptor de GE faz parte de um sistema de MAGE. (FERREIRA, 2010, p.37).

Conforme Ferreira (2010), o receptor MAGE é o grande responsável pela monitoração do EM e conseqüentemente pela detecção dos sinais de interesse, no caso da presente pesquisa, sinais com FHSS.

3.2.1 SISTEMA MAGE MRD7

O Sistema MAGE orgânico da Cia GE do 9ª B Com GE é equipado com o receptor MAGE MRD7, da empresa Sul-africana GEW. (GEW, 2019)



FIGURA 6 – Receptor MAGE MRD7.
Fonte: GEW (2019).

A seguir há uma figura, retirada do manual do equipamento, demonstrando quais são as especificações do MRD7, dentre os quais o foco da presente pesquisa é a capacidade de largura de banda instantânea (*instantaneous bandwidth*) do equipamento. Segundo Centro de Instrução de Guerra Eletrônica (2013) a capacidade de visualização da largura de banda instantânea do equipamento influencia diretamente na sua capacidade de detecção de sinais com SS no espaço eletromagnético (EM).

2.2.2.2. Major specifications for the MRD7 Direction Finder:

ITEM	SPECIFICATION
Frequency Range	1 MHz to 6 GHz
Instrumental DF Accuracy	1°rms
DF Accuracy	5°rms (In reflection free environment)
Automatic Detection of Signals	Fixed Frequency, Frequency Hopper
DF Scan Rate (100 kHz resolution)	≥ 10 GHz per second, (100% occupancy)
Bearings per second	80 000
Instantaneous bandwidth	Adjustable 0.05/0.1/0.5/2/10/20/40/80 MHz
Demodulation Modes	CW, AM, FM, SSB
Demodulation Bandwidths	100/200 Hz, 1/4/6/8/10/12/16/20/40/80/100 /160/200/320 kHz
Minimum Signal Duration starting @ 25 kHz FFT Resolution	≤ 1ms
Selectable Frequency Range	Multiples of instantaneous DF bandwidth within the DF Receiver Frequency Range
Dynamic Range	≥ 70 dB

Table 1 - MRD7 major specifications

FIGURA 7 - Especificações principais do MRD7

Fonte: GEW (2019)

Como podemos observar na figura, a capacidade de detecção da largura de banda instantânea máxima do MRD7 é de 80MHz. Ou seja, qualquer sinal de interesse que possua FHSS e “salte” numa largura de banda de até 80 MHz será detectado em toda sua plenitude pelo receptor MAGE MRD7. Caso os 80 Mhz de largura de banda não sejam suficientes para realizar a detecção de algum sinal de interesse, pode-se fazer uso de mais de um equipamento MAGE MRD7, haja vista o sensor MAGE funcionar de forma passiva. (ADAMY,2009).

3.3 COMPARATIVO ENTRE O MRD7 E ALGUNS EQUIPAMENTOS COM FHSS

A fim de ilustrar de forma mais clara e objetiva alguns dados que foram encontrados pela pesquisa, colocarei a seguir uma tabela comparativa com a capacidade de detecção do receptor MAGE MRD7, frente aos sinais munidos com Espalhamento Espectral por Salto de Frequência de alguns equipamentos rádios utilizados pelo nosso EB.

MRD7, pois é o equipamento orgânico da Cia GE do 9º B Com GE.

O **problema** encontrado é que muitos sinais de interesse que são munidos com FHSS possuem uma largura de banda muito superior aos 80 Mhz do MRD7. Ou seja, para sinais que excedam a largura de banda de 80 Mhz a **solução** mais viável e de mais fácil implementação, a curto prazo, seria a utilização de mais de um receptor MAGE MRD7, trabalhando de forma conjunta e em série, para detecção de um único sinal de interesse com FHSS. Atuando desta forma, seria possível somar as capacidades de detecção dos receptores a fim de atingirmos capacidades de 160 Mhz, 240 Mhz de largura de banda e assim por diante.

Por fim, fruto da análise bibliográfica e documental realizada em documentos e obras produzidas no ano de 2009 até os dias atuais, o trabalho conclui que a capacidade máxima na detecção do receptor MAGE MRD7, sendo utilizado de forma isolada, ou seja, um único receptor, frente a sinais de interesse com FHSS, é de **80 MHz**. Ou seja, qualquer tipo de sinal de interesse que seja transmitido em uma largura de banda de até 80 MHz será totalmente detectado pelo receptor da Cia GE do 9º B Com GE. Entretanto, para sinais de interesse com FHSS com uma largura de banda superior a 80 Mhz será necessário o emprego de dois ou mais receptores MAGE MRD7. Com um pequeno ajuste pode-se suprir uma limitação técnica do receptor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY, David L. **EW 103: tactical battlefield communications eletronic warfare**. London: Artech House, 2009.

ANJOS, André Antônio. **Interferência em Sistemas de Comunicação Digital**. [S.l.: Inatel], 2016.

CENTRO DE INSTRUÇÃO DE GUERRA ELETRÔNICA. **Manual de Ensino de Guerra Eletrônica**. Brasília: CIGE, 2013.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Manual de Fundamentos OPERAÇÕES**. Brasília: EME, 2014.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Bases para a Transformação da Doutrina Militar Terrestre**. Brasília: EME, 2013.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **C 34-1: Emprego da Guerra Eletrônica**. 2. ed. Brasília: EGGCF, 2009.

FERREIRA, Márcio Wagner Dias. **Potencialidades do Emprego de Receptores de Banda Larga em Apoio as Atividades de MAGE Com na Cia Ge E nos Nucris**. 2010. Trabalho de Conclusão do Curso (Especialização - Básico de Guerra Eletrônica para Oficiais) - Centro de Instrução de Guerra Eletrônica, Brasília, 2010.

GUIMARÃES, Dayan Adionel; SOUZA, Adriano Amaral. **Transmissão Digital**. São Paulo: Érica, 2014.

OLIVEIRA, Elton Resende de. **Análise da capacidade de processamento dos sistemas MAGE táticos de sinais transmitidos por espalhamento espectral por salto de frequência (FHSS)**. 2016. Trabalho de Conclusão do Curso (Especialização - Básico de Guerra Eletrônica para Oficiais) - Centro de Instrução de Guerra Eletrônica, Brasília, 2016.

GEW. **Operator Manual for the MRD7 H/V/U/SHF Direction Finder**, 2018.