

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE WANDENKOLK

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM GUERRA ELETRÔNICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



Radares LPI no cenário de Guerra Eletrônica

1T FERNANDO CESAR RIBEIRO BRITO

Rio de Janeiro
2018

1T FERNANDO CESAR RIBEIRO BRITO

RADARES LPI NO CENÁRIO DE GUERRA ELETRÔNICA

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica

Orientador Técnico: 1T (RM2-EN) Adriana Neves da Costa

Orientador Acadêmico: Fernando da Rocha Pantoja

FOLHA DE APROVAÇÃO

1T FERNANDO CESAR RIBEIRO BRITO

RADARES LPI NO CENÁRIO DE GUERRA ELETRÔNICA

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

CMG (RM1-EN) Gian Karlo Huback Macedo de Almeida, Mestre – CIAW

1T (RM2-EN) Adriana Neves da Costa, Mestre – IPqM

Fernando da Rocha Pantoja, PhD – PUC Rio

Dedico esse trabalho àqueles que estão comprometidos com o futuro de nossa Marinha e se dedicam diuturnamente para que através de seu trabalho possam contribuir para uma instituição melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a minha orientadora Tenente Adriana Costa por toda ajuda prestada ao longo do desenvolvimento deste trabalho, mesmo em meio a suas obrigações diárias no Instituto de Pesquisas da Marinha, se mostrou sempre preocupada com o andamento do trabalho e prestou sempre pronto apoio na disponibilização de material, além de me receber com muita fidalguia nas visitas ao IPqM. Muito obrigado.

Aos professores que ministraram aula para o curso de guerra eletrônica, todos contribuíram de alguma forma para que o trabalho fosse desenvolvido da melhor maneira possível.

Agradeço imensamente ao professor Fernando Pantoja, meu orientador acadêmico, que se colocou a total disposição para sanar dúvidas e ajudar na elaboração do trabalho disponibilizando material para referências e ministrando aulas.

A minha esposa Gleyce por toda a compreensão e apoio nos momentos em que estive focado com o desenvolvimento deste trabalho, sem o seu suporte nada seria possível.

Por último, porém não menos importante, aos meus companheiros de turma com os quais dividi a maior parte do meu tempo ao longo desses meses de curso, foi fundamental a troca de ideias para que esse trabalho pudesse ser realizado, tendo em vista a grande dificuldade que nos foi imposta devido as constantes provas e trabalhos paralelos, tornando o que era já complicado, ainda mais difícil.

“ O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo. ”
Winston Churchill

RADARES LPI NO CENÁRIO DE GUERRA ELETRÔNICA

Resumo

O objetivo principal deste trabalho é apresentar os Radares LPI, as técnicas que possibilitam a redução da probabilidade de interceptação e contextualizar o equipamento dentro do cenário atual de guerra eletrônica (GE). Inicialmente são apresentados alguns conceitos, bem como um pouco da estrutura de guerra eletrônica da Marinha para facilitar o entendimento. Os avanços tecnológicos constantes que caracterizam o mundo atual, geram impactos em todos os setores, e não seria diferente no âmbito da guerra eletrônica, a cada novidade introduzida, uma contramedida precisa ser elaborada visando manter a vanguarda das ações e a vantagem no possível combate entre forças.

Palavras-chave: [Probabilidade de Interceptação, LPI, Radar, Guerra Eletrônica]

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura na qual encontram-se as Medidas de Guerra Eletrônica.....	12
Figura 4.1 – Radar de Vigilância Aérea Lanza 3D.....	21
Figura 4.2 – Radar de Trânsito Convencional.....	21
Figura 4.3 – Ilustração da diferença de distância de detecção.....	23
Figura 4.4 – Comparação entre Radar pulsado e Radar LPI.....	27
Figura 4.5 – A Antena AESA Utilizada no Radar AN/APG-7727.....	31
Figura 4.6 – Radar AN/APG-79 AESA.....	31
Figura 4.7 – B-2 Spirit Stealth Bomber.....	32
Figura 4.8 – AN/APS-147 Radar Multimodo.....	32
Figura 4.9 – Radar PILOT MK3 LPI.....	33
Figura 4.10 – Radar SCOUT LPI.....	34
Figura 4.11 – Radar SMART-L D-Band.....	34

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGE	Atividades de Guerra Eletrônica
COMINT	Inteligência de Comunicações
ComOpNav	Comando de Operações Navais
CW	Ondas Contínuas (<i>Continuous Waves</i>)
EEM	Espectro Eletromagnético
ELINT	Inteligência Eletrônica
ESM	Medidas de Suporte Eletrônico (<i>Electronic Support Measures</i>)
FMCW	Onda Contínua de Modulação em Frequência (<i>Frequency Modulation CW</i>)
FRP	Frequência de Repetição de Pulso
FSK	Chaveamento de mudança de frequência (<i>Frequency Shift Keying</i>)
GE	Guerra Eletrônica
LPI	Baixa Probabilidade de Interceptação (<i>Low Probability of Intercept</i>)
LPID	Baixa Probabilidade de Identificação (<i>Low Probability of Identification</i>)
LP	Largura de Pulso
MAGE	Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica
MAE	Medidas de Ataque Eletrônico
MPE	Medidas de Proteção Eletrônica
MGE	Medidas de Guerra Eletrônica
NRL	Laboratório de Pesquisa Naval dos EUA (<i>U.S. Naval Research Laboratory</i>)
PSK	Chaveamento de mudança de fase (<i>Phase Shift Keying</i>)
RF	Radiofrequência
RSR	Radar de Sinal Aleatório (<i>random signal radars</i>)
RWR	Radar de Alarme Antecipado (<i>Radar Warning Receiver</i>)
SNR	Relação Sinal/Ruído

USN

Marinha dos Estados Unidos (*United States Navy*)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Apresentação do Problema	13
1.2 Justificativa e Relevância	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3 METODOLOGIA	18
3.1 Classificação da Pesquisa	18
3.1.1 Classificação Quanto aos Fins.....	18
3.1.2 Classificação Quanto aos Meios.....	18
3.2 Limitações da Pesquisa	19
3.3 Coleta e Tratamento dos Dados	19
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	20
4.1 Radar	20
4.2 Radares LPI: Conceito e Requisitos	22
4.3 Técnicas utilizadas nos Radares LPI	25
4.4 Exemplos de Radares LPI	30
4.4.1 Radares LPI Aéreos.....	30
4.4.2 Radares LPI Marítimos.....	33
4.5 Detecção de Radares LPI	35
5 CONCLUSÃO	36
5.1 Considerações Finais	36
5.2 Sugestões para futuros trabalhos	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que vivemos hoje, em toda a conjuntura global, um momento histórico no qual o avanço tecnológico tomou proporções nunca antes vistas. A tecnologia tomou conta de praticamente todas as áreas de atuação humana, e no contexto dos conflitos entre forças não foi diferente. A grande maioria dos sistemas de armas e de Comando e Controle, depende de equipamentos eletrônicos para a execução de suas principais funções, implicando assim no uso cada vez mais intensivo do espectro eletromagnético. (ComOpNav 521 - Manual de Guerra Eletrônica).

“Conjunto de ações que visam a explorar as emissões do inimigo, em toda a faixa do espectro eletromagnético, com a finalidade de conhecer a sua ordem de batalha, intenções e capacidades e, também, utilizar medidas adequadas para negar, reduzir ou prevenir o uso efetivo dos seus sistemas, enquanto se protege e utiliza, com eficácia os seus próprios sistemas”, assim é conceituada a Guerra Eletrônica (GE), segundo a Doutrina Básica da Marinha (ComOpNav 521 - Manual de Guerra Eletrônica), porém podemos nos aprofundar um pouco mais nessa definição. A guerra eletrônica é uma ação militar cujo objetivo é controlar o espectro eletromagnético (EEM). O objetivo é explorar, reduzir ou impedir o uso hostil do espectro eletromagnético, mantendo ao mesmo tempo o uso amigável do EEM. A GE é extremamente dependente de inteligência oportuna, precisa e focada. O termo Inteligência no cenário de GE, se refere ao meio de observação, detecção e registro de informações, condições e eventos. O sucesso operacional é alcançado pelo domínio da inteligência. No entanto, é precível, portanto, ganhar e manter a inteligência é fundamental no sucesso da GE. A inteligência de sinal é dividida em duas subdivisões, Inteligência Eletrônica (ELINT) e Inteligência de Comunicações (COMINT).

A Guerra Eletrônica alcança um status cada vez mais relevante no cenário atual, mesmo em tempos de paz nos quais se faz necessário o desenvolvimento de uma Capacidade de Guerra Eletrônica, a fim de acompanhar o ritmo dinâmico das evoluções tecnológicas, bem como manter atualizado seus conhecimentos a respeito da capacidade do inimigo e das forças amigas. Em tempos modernos onde o combate entre forças, sejam elas estatais ou não, esta cada vez mais dependente de equipamentos eletrônicos, a aplicação da GE torna-se cada vez mais ampla e para que possamos analisar as perspectivas da GE de forma precisa, temos que entender suas origens e sua evolução ao longo do tempo para assim chegarmos a melhores conclusões (ComOpNav 521 - Manual de Guerra Eletrônica).

O pesquisador Carlos Fazano apresentou em sua obra, o momento histórico no qual esta inserida a origem da Guerra Eletrônica. Segundo Fazano em seu livro, A Idade do Elétron 100 anos de progresso na eletrônica, a evolução da Eletrônica nas primeiras décadas do século XX influenciou consideravelmente na filosofia militar, originando a chamada guerra eletrônica. As forças armadas tinham agora um eficiente processo de comunicação pela transferência de sinais de radio em diversas modalidades de transmissão como: fonia, código, teletipo, fac-0símile e pulsos. Durante as transmissões estes sinais eram ainda monitorados, cifrados como contrainformados, que era o campo da inteligência eletrônica. Além disso outras formas de armamento eletrônico surgiram como o SONAR, o RADAR e a, RADIONAVEGAÇÃO”.

Visando a melhor compreensão do assunto daqui para a frente, faz se necessário ter o conhecimento prévio de alguns conceitos básicos de GE tais como:

- **MAGE (Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica):** São o conjunto de ações visando à busca, interceptação, identificação e localização eletrônica das fontes de energia eletromagnética irradiada no ambiente eletrônico de uma Força ou unidade, a fim de permitir a análise, o imediato reconhecimento de uma ameaça ou sua posterior exploração. (ComOpNav 521 - Manual de Guerra Eletrônica).
- **MAE (Medidas de Ataque Eletrônico):** São o conjunto de ações tomadas para evitar ou reduzir o uso efetivo do espectro eletromagnético pelo oponente, bem como degradar, neutralizar ou destruir sua capacidade de combate por meio de equipamentos e armamentos que utilizem este espectro. (ComOpNav 521 - Manual de Guerra Eletrônica).
- **MPE (Medidas de Proteção Eletrônica):** São o conjunto de ações tomadas para proteção de meios, sistemas, equipamentos, pessoal e instalações, a fim de assegurar o uso efetivo do espectro eletromagnético, diante do emprego de Ações de GE por Forças Amigas ou Inimigas. (ComOpNav 521 - Manual de Guerra Eletrônica).

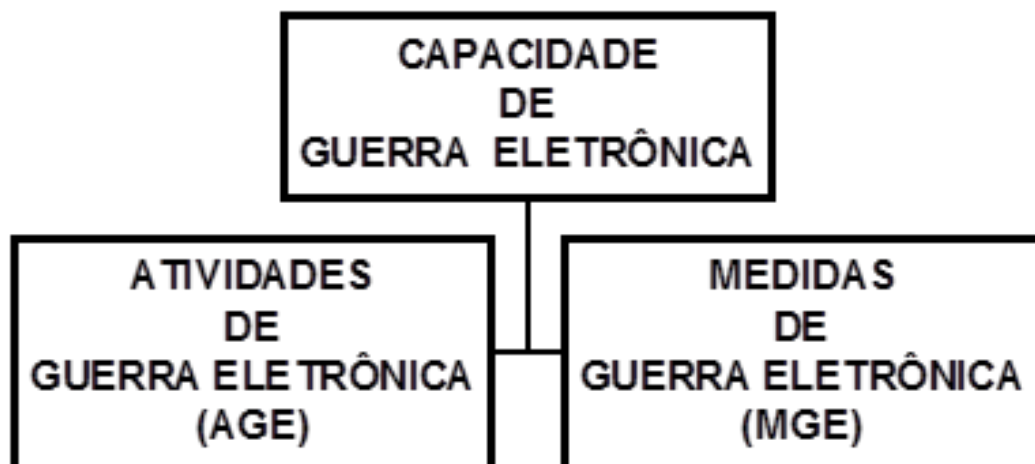


Figura 1.1 Estrutura na qual encontram-se as Medidas de Guerra Eletrônica

Juntas, MAGE / MAE / MPE formam o conjunto das chamadas Medidas de Guerra Eletrônica (MGE) que são ações que caracterizam o emprego de uma Capacidade de Guerra Eletrônica em apoio direto a uma operação militar. (ComOpNav 521 - Manual de Guerra Eletrônica).

Neste contexto de evolução da GE, chegamos aos Radares LPI (Low Probability of Intercept) que serão o foco deste trabalho. Mais do que um tipo de radar, o LPI é um conjunto de Medidas de Proteção Eletrônica (MPE). Seu propósito é desequilibrar a clássica situação entre os radares e os equipamentos de interceptação, na qual estes sempre obtiveram grande vantagem tática, detectando as ondas eletromagnéticas a grandes distâncias, até mesmo aquelas provenientes dos lóbulos secundários dos radares. (DE OLIVEIRA, Marcello. MARQUES DIAS, João Cândido, 2007).

Este trabalho irá abordar algumas questões interessantes a respeito dos radares LPI, tais como: O que é uma baixa probabilidade de interceptar o radar e por que essa capacidade é necessária? Quais são os tipos existentes de radares LPI? Qual diferença entre eles? Quais são as principais características e técnicas que definem um radar LPI? Depois de responder a essas perguntas básicas, as características do projeto do radar que diferenciam esses tipos de sensores serão apresentadas. A faixa na qual um receptor de interceptação pode detectar a emissão do radar LPI também será apresentada. O radar Pilot, assim como outros radares, será usado para exemplificar um tipo de radar LPI, para complementar o entendimento, além de uma rápida abordagem a respeito de seu desempenho.

1.1 Apresentação do Problema

Saber onde o inimigo está localizado, sem precisar expor sua posição, é sem dúvida um fator de primordial importância para o sucesso de uma operação militar. Porém com os avanços tecnológicos observados nas últimas décadas, grandes desafios surgiram devido ao fato do Espectro Eletromagnético poder ser completamente monitorado pelos mais sofisticados equipamentos de Guerra Eletrônica.

A relação entre Radares e equipamentos MAGE é caracterizada por um desequilíbrio, pois no cenário de combate o MAGE leva considerada vantagem tática, detectando as ondas eletromagnéticas provenientes dos radares a grandes distâncias. Para que seja superada tal vantagem, faz-se necessário o advento de novos métodos, e é nesse contexto que estão

inseridos os Radares LPI. Este radar tem por objetivo tentar garantir o uso seguro do espectro eletromagnético, através da utilização de técnicas que serão apresentadas mais a frente.

Sendo assim é importante que seja feita uma análise a respeito do funcionamento e das características dos Radares LPI, visando a melhor compreensão de como o cenário da Guerra Eletrônica pode ser afetado por esse tipo de radar. Além de apresentar as nações que já possuem essa tecnologia inserida em seus meios navais, com o objetivo de manter conhecimento atualizado sobre as tecnologias que estão sendo desenvolvidas, bem como a capacidade de combate de outras Marinhas, para que a Marinha do Brasil possa estar acompanhando esses constantes avanços

1.2 Justificativa e Relevância

A Guerra Eletrônica alcança um status cada vez mais relevante no cenário atual, mesmo em tempos de paz nos quais se faz necessário o desenvolvimento de uma Capacidade de Guerra Eletrônica, a fim de acompanhar o ritmo dinâmico das evoluções tecnológicas, bem como manter atualizado seus conhecimentos a respeito da capacidade do inimigo e das forças amigas. O combate entre forças, sejam elas estatais ou não, está cada vez mais dependente de equipamentos eletrônicos, nesse cenário a aplicação da GE torna-se cada vez mais ampla e para que possamos analisar as perspectivas da GE de forma precisa, temos que entender a evolução dos equipamentos para assim chegarmos a melhores conclusões.

Frente a todo o avanço tecnológico atual, a má utilização dos equipamentos pode comprometer de forma decisiva uma operação militar, o domínio técnico-científico é fator de suma importância no contexto da GE. Os Radares LPI são equipamentos que utilizam técnicas afim de evitar a descoberta da posição, de quem o está utilizando, fator estratégico de grande relevância frente ao inimigo. A Marinha do Brasil precisa ter o pleno conhecimento de todo tipo de inovação tecnológica que é inserida no âmbito da GE, para melhorar empregar seu poder de dissuasão e garantir a segurança de seu pessoal durante suas operações e exercícios.

Em uma análise final, todas as ações, atividades, medidas e recursos que envolvem a Guerra Eletrônica visam o aumento da probabilidade de sucesso e sobrevivência das Forças Navais, Aeronavais e de Fuzileiros Navais. O estudo irá contribuir para que se tenha melhor entendimento a respeito dos Radares LPI e sua forma de operação.

A utilização dos Radares LPI surge com importância fundamental para que haja uma capacidade maior de detecção, com a redução da probabilidade de interceptação por parte dos

equipamentos MAGE. Qualquer possibilidade de se obter uma vantagem em uma operação militar, deve ser estudada com bastante atenção, pois pode garantir a sobrevivência de muitos militares. É de grande valia para a Marinha do Brasil deter o conhecimento a respeito dos mais modernos recursos de Guerra Eletrônica, afim de estar em condições de realizar operações conjuntas com as marinhas de outros países e também para a possível aquisição de novos equipamentos.

1.3 Objetivos

Neste tópico serão expostas as metas a serem alcançadas neste trabalho. Serão abordados tanto o objetivo geral, que é o foco principal do trabalho, quanto os objetivos específicos, que melhor contextualizam a evolução do trabalho, visando uma melhor organização além de facilitar a compreensão.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar os Radares LPI da forma mais simples e objetiva possível, buscando abordar suas características de funcionamento, suas vantagens no contexto da Guerra Eletrônica, no que esse tipo de radar difere dos radares convencionais e agregar o máximo de conhecimento a respeito do equipamento.

Para o melhor entendimento serão apresentados os conceitos referentes à Guerra Eletrônica em vigor na Marinha do Brasil, tais como Medidas de Ataque Eletrônico (MAE), Medidas de Proteção Eletrônica (MPE), Medidas de Apoio a Guerra Eletrônica (MAGE) afim de que possamos contextualizar a relação dos Radares LPI com os equipamentos de interceptação, principalmente o MAGE.

Realizar o levantamento das informações a partir de trabalhos e artigos anteriores, bem como buscar a opinião de profissionais da área de Guerra Eletrônica da Marinha sobre as funcionalidades e importância do equipamento.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os seguintes objetivos específicos serão trabalhados:

Apresentar os conceitos de Guerra Eletrônica, dentre eles Capacidade de Guerra Eletrônica, Medidas de Ataque, Proteção Eletrônica, Medidas de Apoio a Guerra Eletrônica.

Conhecer as características dos Radares LPI que o diferem dos Radares convencionais, tais como feixe estreito, baixa potência efetiva irradiada e modulação do pulso. (para espalhar o sinal radar na frequência).

Entender quais são as perspectivas, em relação ao equipamento, na conjuntura da GE.

Apresentar os diferentes tipos de radares que utilizam técnicas para minimizar a detecção, por parte do equipamento MAGE, LPDI (Low Probability of Identity) e LPI (Low Probability of Intercept).

Analisar a relação entre Radares LPI e equipamentos de interceptação.

Apresentar as tendências para o futuro para os Radares LPI.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Algumas obras foram utilizadas para compor o trabalho, serão apresentados breves resumos a respeito das mesmas, abordando apenas o que foi significativo para o trabalho.

Em (BRASIL 2002), Manual de Guerra Eletrônica do Comando de Operações Navais, são definidos todos os conceitos referentes a GE no âmbito da Marinha do Brasil, além de outras definições imprescindíveis para o entendimento da forma como é dividida atuação de cada setor no que diz respeito a GE.

Em DE OLIVEIRA (2007), é feita uma abordagem bem clara e objetiva a respeito das características de funcionamento dos Radares LPI e também ao fim a que se destinam, além do paralelo com a relação aos equipamentos de interceptação. São apresentadas as principais mudanças técnicas que possibilitam a redução da probabilidade de interceptação.

Segundo Fazano (2012) a origem da Guerra Eletrônica esta inserida no contexto da evolução da Eletrônica nas primeiras décadas do século XX, influenciando consideravelmente na filosofia militar. As forças armadas tinham agora um eficiente processo de comunicação pela transferência de sinais de radio em diversas modalidades de transmissão como: fonia, código, teletipo, fac-símile e pulsos. Durante as transmissões estes sinais eram ainda monitorados, cifrados como contrainformados, que era o campo da inteligência eletrônica.

De acordo com Dias (2006), existe relação entre o desenvolvimento da capacidade de Guerra Eletrônica com o resultado dos conflitos das duas últimas décadas. O grande investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico deu às grandes potências mundiais a assimetria tecnológica. Esta é definida como uma vantagem muito grande devido ao domínio tecnológico em áreas como a GE, que podem desequilibrar o combate antes do seu início.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho. Será dividida em classificação quanto aos fins e quanto aos meios, além de apresentar as principais limitações da pesquisa e a forma como os dados obtidos foram coletados para fazer parte do trabalho.

3.1 Classificação da Pesquisa

3.1.1 Quanto aos fins

Quanto aos fins, a pesquisa pode ser classificada como descritiva e explicativa. Descritiva, porque abrange e define os conceitos de GE, aborda a relação entre os Radares LPI e os equipamentos de interceptação, apresenta ainda as técnicas utilizadas para possibilitar que os radares não sejam interceptados. Outra característica que também a classifica como descritiva, está no fato da pesquisa buscar estabelecer uma correlação entre a relação dos radares convencionais e os equipamentos de interceptação, e a mudança causada nessa relação com a inclusão dos Radares LPI

Quanto aos fins, a pesquisa também será classificada como explicativa, pois visa esclarecer quais as principais características os Radares LPI devem apresentar, para que os mesmos possam ser usados em combate, garantindo que sua posição não seja antecipadamente descoberta pelo inimigo.

3.1.2 Quanto aos meios

Quanto aos meios a pesquisa será bibliográfica, pois será realizada uma revisão literária sobre conceitos de GE, bem como sobre os princípios de funcionamento dos Radares LPI, buscando através de artigos científicos, trabalhos anteriores, livros e dissertações fundamentar teoricamente o trabalho realizado. Através de pesquisas documentais e bibliográficas, o trabalho utilizará uma metodologia aplicada, no que tange a explanação das diferenças entre os Radares LPI e os Radares convencionais.

3.2 Limitações da Pesquisa

A pesquisa está limitada a análise bibliográfica, na qual serão abordados importantes tópicos a respeito do assunto em pauta. Não será feito um estudo de campo, no qual seria possível verificar a aplicação prática da utilização dos Radares LPI a bordo, haja visto que nenhuma classe de navios da Marinha do Brasil dispões desse tipo de radar, apenas fazem uso de técnicas para que seus radares atuem de forma a dificultar a interceptação. A metodologia de pesquisa documental é fundamental para o desenvolvimento do trabalho, mas ao mesmo tempo, torna mais complicada uma abordagem detalhada em função da dificuldade de acesso a determinadas publicações. Mesmo quando o acesso é obtido, não é garantida a permissão de citações relativas a todos os itens do documento, gerando assim a necessidade de uma abordagem baseada em trabalhos já existentes.

3.3 Coleta e Tratamento dos Dados

A coleta de dados será realizada a partir de trabalhos, artigos e pesquisas publicadas sobre o tema em questão, tendo em vista que são fontes ricas de informações. Visitas ao Instituto de Pesquisas da Marinha também servirão para a coleta de dados, buscando a opinião e experiência de profissionais da área de Guerra Eletrônica, a respeito da tecnologia utilizada pelos Radares LPI, bem como especificações técnicas.

Após a coleta dos dados, será realizada uma análise a fim de se compilar o conteúdo que realmente fará parte do trabalho. Organizando as informações, será realizada uma síntese de todo o conteúdo, visando concluir o assunto de forma clara e objetiva, e que possa atender os interesses da Marinha do Brasil.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo trata da descrição dos dados coletados a partir da pesquisa documental, realizando a análise das informações obtidas nas diversas bibliografias. Será dividido em tópicos que abordem os principais assuntos do trabalho:

- Breve Histórico sobre radar de forma geral
- Conceito e Requisitos dos Radares LPI
- Características e Técnicas utilizadas nos Radares LPI
- Apresentar alguns exemplos de Radares LPI
- Abordar um pouco a respeito da detecção de Radares LPI.

4.1 RADAR

A palavra radar era originalmente um acrônimo, RADAR, para *radio detection and ranging*. Hoje, a tecnologia é tão comum que a palavra se tornou um substantivo padrão. Muitas pessoas têm experiência pessoal direta com o radar em aplicações como a medição da velocidade das bolas de tênis ou, muitas vezes para o controle de tráfego. A história do radar se estende até os primórdios da teoria eletromagnética moderna. Em 1886, Hertz demonstrou a reflexão de ondas de rádio e, em 1900, Tesla descreveu um conceito para detecção eletromagnética e medição de velocidade em uma entrevista. Em 1903 e 1904, o engenheiro alemão Hulsmeyer experimentou a detecção de navios por reflexão de ondas de rádio, uma ideia defendida novamente por Marconi em 1922. Nesse mesmo ano, Taylor e Young do Laboratório de Pesquisa Naval dos EUA demonstraram detecção de navios por radar e em 1930, a Hyland, também do Laboratório de Pesquisa Naval dos EUA (NRL), detectou pela primeira vez as aeronaves (ainda que acidentalmente) por radar, desencadeando uma investigação mais substancial que levou a uma patente norte-americana do que seria chamado radar de onda contínua (CW) em 1934.

O desenvolvimento do radar acelerou-se e propagou-se em meados e final da década de 1930, com desenvolvimentos largamente independentes nos Estados Unidos, Grã-Bretanha, França, Alemanha, Rússia, Itália e Japão. Nos Estados Unidos, Page do NRL começou um esforço para desenvolver radar pulsado em 1934, com as primeiras demonstrações bem-sucedidas em 1936. O neste ano também, o US Army Signal Corps

começou o trabalho de radar ativo, levando em 1938 ao seu primeiro sistema operacional, o sistema de controle de incêndio antiaéreo SCR-268 e, em 1939, o sistema de alerta precoce SCR-270, cujas detecções foram tragicamente ignoradas em Pearl Harbor. O desenvolvimento britânico, estimulado pela ameaça de guerra, começou com o trabalho de Watson-Watt em 1935.



Figura 4.1- Radar de Vigilância Aérea Lanza 3D



Figura 4.2 – Radar de Trânsito convencional

As figuras 4.1 e 4.2 nos mostram de forma clara os estágios mais recentes da utilização dos radares, desde o uso mais restrito até o mais corriqueiro. O desenvolvimento inicial do radar foi impulsionado pela necessidade militar. As aplicações militares incluem vigilância, navegação e orientação de armas para veículos terrestres, marítimos e aéreos.

4.2 RADARES LPI: CONCEITO E REQUISITOS

Antes de apresentar de forma mais objetiva os conceitos e requisitos dos radares LPI, será feita uma rápida contextualização do cenário no qual o equipamento está inserido, para que dessa forma tenhamos bem definida e clara a linha de ação que deve ser seguida, por esse tipo de radar, dentro do cenário de GE.

O elemento surpresa é sem dúvida um fator de primordial importância quando falamos a respeito do combate entre forças, na história dos grandes conflitos envolvendo dois ou mais países, podemos enumerar diversas batalhas que foram vencidas graças ao fator surpresa, ou ainda devido ao fato de uma força não conseguir descobrir a posição estratégica da outra. O tempo passou, e a evolução tecnológica incorporou praticamente todas as áreas de atividades humanas, e no contexto da guerra não podia ser diferente, e assim como no passado, o fato de manter sua posição no combate desconhecida pelo inimigo proporciona vantagem fundamental nas ações de combate.

Equipamentos de interceptação, tais como o MAGE e o RWR (Radar Warning Receiver), tem como missão básica fornecer informações ao sistema de comando e controle do navio, de forma a possibilitar a esse sistema uma tomada de decisão quanto às ações a serem empregadas contra a ameaça apresentada. Com o intuito de neutralizar qualquer possível ameaça, faz-se necessária a existência de algum dispositivo de alarme antecipado que possibilite alertar a tripulação de perigo iminente e fornecer informações que permitam a execução de uma contramedida efetiva. Trabalhando sempre nesse intuito de antecipar possíveis ações hostis que os equipamentos de interceptação, sempre mantiveram uma considerável vantagem tática na relação com os radares, sempre detectando as ondas eletromagnéticas a grandes distâncias, a figura 4.3 exemplifica de forma simples essa relação. Desequilibrar essa relação, é a isso que se propõem os radares LPI. Para tal foi necessário que houvesse um avanço em técnicas de Medidas de Proteção Eletrônica, nos radares, a fim de não serem detectados.

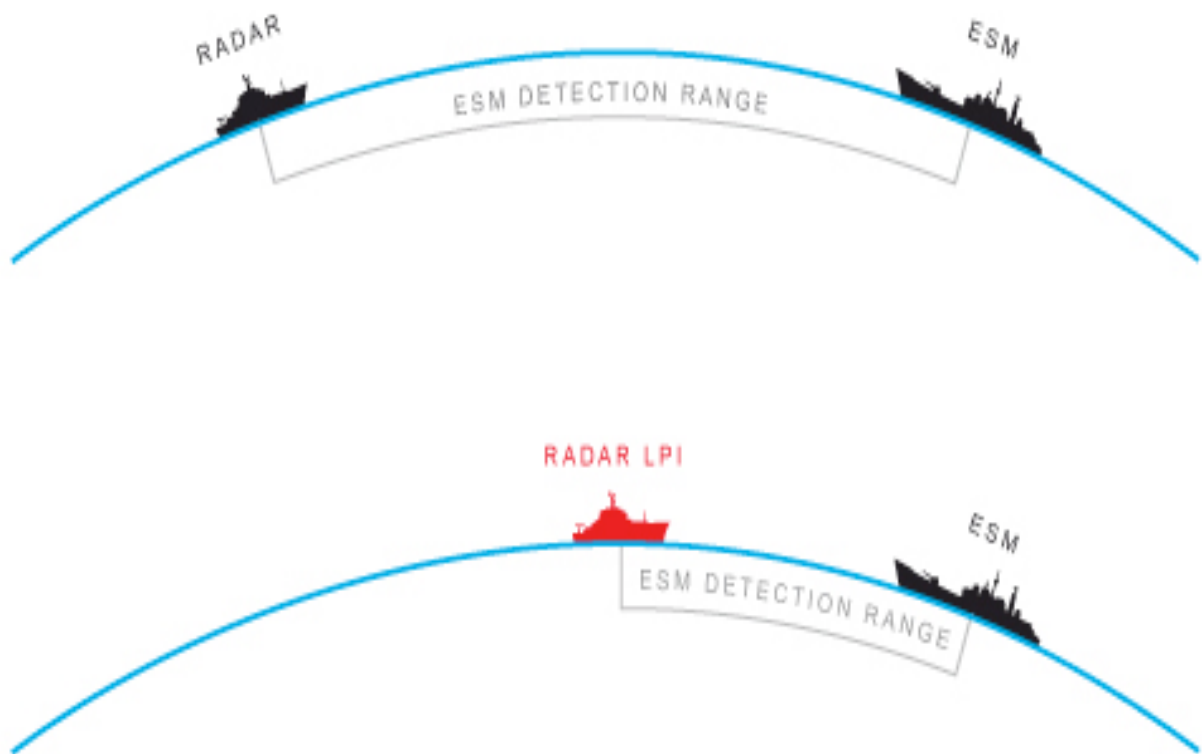


Figura 4.3 Ilustração da diferença de distância de detecção

Imagine o vigia de um navio iluminando uma pequena embarcação com um holofote. A luz é enviada, refletida pelo alvo e utilizada para visualizá-lo. Agora, imagine um holofote com características tais que, ainda permanecendo capaz de iluminar e identificar a embarcação, não possa ser avistado pelos tripulantes dentro dela. Segundo o CMG Marcello Lima de Oliveira e o CC João Candido Marques Dias, em seu artigo LPI: Radares Invisíveis, é a isso que se propõem os radares com arquitetura LPI, ou seja, detectarem sem serem detectados. Pode parecer difícil de imaginar num primeiro momento, a ideia de que um radar evite ser detectado por um alvo antes de detectá-lo, porém, matematicamente falando existem possibilidades de faixas de números onde isso pode acontecer e é nessa ideia que se debruçam os estudos dos Radares LPI.

Desde a Segunda Guerra Mundial, o conceito de radar é sinônimo da transmissão de um pulso estreito de energia, com alta potência de pico, e sua viagem de ida e volta até um alvo, num determinado tempo, que corresponde à distância de detecção. Este é o radar

pulsado. Mais recentemente, contudo, o emprego de ondas contínuas (CW) ou de pulsos de longa duração, mas com baixa potência de pico, tem causado dificuldades à maioria dos atuais equipamentos de GE, até então desenhados para interceptar radares pulsados que utilizam altas potências de pico. Isso só é possível porque a performance do radar é determinada pela potência média (total de energia transmitida, dividida pelo tempo de transmissão) e não pela potência de pico do pulso. Por outro lado, a performance dos receptores de interceptação MAGE é função da potência de pico do sinal recebido, pois seus receptores dependem da relação sinal/ruído (SNR) para validarem a detecção e procederem à identificação do radar. Sinais de baixa potência tentam fugir a esse processo, diminuindo a SNR, escondendo-se dentro do ruído. (DE OLIVEIRA, Marcello. MARQUES DIAS, João Cândido, 2007).

Os radares que empregam técnicas para minimizar a probabilidade de detecção, por parte dos equipamentos MAGE e RWR, podem ser divididos em:

Low Probability of Identification (LPID): radares que, embora sejam facilmente detectados, criam dificuldades para serem identificados pelo receptor. Em um ambiente eletrônico saturado, a simples interceptação de um sinal não é útil até que ele seja processado e identificado. A introdução de agilidade nos diversos parâmetros de um radar, tais como frequência, FRP (Frequência de Repetição de Pulso) e LP (Largura de Pulso), confunde o processo de classificação do sinal. Isso acontece porque o receptor precisa detectar pulsos individuais e analisá-los um a um, por um período mínimo de tempo, o que não acontece quando os parâmetros são variados rapidamente (agilidade). O radar de baixa probabilidade de identificação é definido como um radar que usa uma forma de onda emitida especialmente para impedir que um interceptador não-cooperativo intercepte e detecte sua emissão, mas se interceptado, dificulta a identificação da modulação da forma de onda emitida e seus parâmetros. (DE OLIVEIRA, Marcello. MARQUES DIAS, João Cândido, 2007).

Low Probability of Intercept (LPI): buscam transmitir sinais tão fracos que os receptores MAGE não possuem sensibilidade para recebê-lo. Tal tarefa, porém, não é simples. Com mais ou menos sucesso, esses radares tentam garantir o uso seguro do espectro eletromagnético, usando a combinação de uma série de artifícios e técnicas que veremos a seguir. Um radar de baixa probabilidade de interceptação é definido como um radar que usa uma forma de onda emitida especialmente para evitar que um interceptador não-cooperativo intercepte e detecte sua emissão. (DE OLIVEIRA, Marcello. MARQUES DIAS, João Cândido, 2007).

Nos dias atuais, especificar o radar com uma baixa probabilidade de interceptação e baixa probabilidade de identificação tornou-se uma importante exigência tática. Segundo

Phillip Pace, em seu livro *Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar*, o termo LPI é a propriedade de um radar que, devido à sua baixa potência, ampla largura de banda, variabilidade de frequência ou outros atributos de projeto, dificulta sua detecção por meio de um receptor de interceptação passivo. Um radar LPID é um radar LPI, com uma forma de onda, que dificulta que um receptor de interceptação identifique corretamente os parâmetros e o tipo de radar.

De acordo com as definições acima, um radar LPID é um radar LPI, mas o radar LPI não é necessariamente um radar LPID. Os radares LPI e LPID tentam detectar alvos em distâncias maiores do que o receptor de interceptação. É importante notar que definir um radar como LPI ou LPID envolve necessariamente a definição do receptor de interceptação correspondente. Ou seja, o sucesso de um radar LPI é medido pela dificuldade de o interceptor detectar e identificar as emissões do radar.

O requisito do LPI é uma resposta ao aumento na capacidade dos modernos receptores de interceptação para detectar e localizar um emissor de radar. Uma coisa é certa. Para cada melhoria no radar LPI, podem ser esperadas melhorias no design do receptor de interceptação. Em aplicações como altímetros, alvos aéreos táticos, vigilância e navegação, a interceptação da transmissão do radar pode levar rapidamente a um ataque eletrônico (ou interferência) se os parâmetros do emissor puderem ser determinados. (Pace, Phillip. 2006)

4.3 TÉCNICAS UTILIZADAS NOS RADARES LPI

O radar LPI é distinguido do radar convencional por alguns recursos. Esses incluem:

- A antena deve ter lóbulos secundários reduzidos,
- Padrões variados de varredura da antena,
- Transmissão em banda larga,
- Gerenciamento de Potência preciso,
- Frequência de portadora escolhida nos picos de absorção,
- Detecção coerente,
- Ganho de processamento alto,
- Compressão de Pulso.

Lóbulos secundários reduzidos

Visando reduzir a possibilidade de um receptor de interceptação detectar as emissões de radiofrequência, das estruturas do lóbulo lateral do padrão da antena, faz-se necessário que a antena de um radar LPI possua um padrão de radiação de transmissão com baixos lóbulos laterais. O objetivo desta técnica é reduzir a possibilidade de interceptação das emissões dos lóbulos secundários.

O mesmo procedimento de supressão, não pode ser realizado com o lóbulo principal, sendo assim o feixe de transmissão deve ser largo com a energia irradiada espalhada por uma área ampla. Dessa forma a dificuldade de interceptar a energia do radar e determinar a direção do sinal, será aumentada. Por outro lado, a antena de recepção de radar deve usar um feixe estreito para alta resolução e detecção.

Padrões Variados de Varredura

Os receptores de interceptação podem usar o tipo de varredura e as informações de taxa de varredura para procurar, detectar e identificar radares. Através da variação das técnicas de varredura de radar, como alterar aleatoriamente os parâmetros de varredura, o radar LPI terá uma chance maior de evitar a interceptação. Uma outra forma que também ajuda o radar LPI a limitar seu tempo de iluminação, é a varredura eletrônica com controle de software. Utilizar esses padrões variados de varredura, entretanto aumentam ainda mais a necessidade de uma maior capacidade de processamento.

Transmissão em banda larga

Uma outra forma que os radares LPI podem usar para escapar da detecção se dá através do espalhamento da energia irradiada por um amplo espectro de frequências. Para que seja possível encontrar o radar LPI, o receptor de interceptação deve realizar a procura em uma grande largura de banda. O radar LPI, possui a capacidade de explorar o produto de largura de banda de tempo realizando a redução de seu pico de potência transmitida para penetrar no ruído ambiental. O fato de o receptor não estar sintonizado de forma compatível com as formas de onda emitidas, torna o radar LPI praticamente invisível para o receptor.

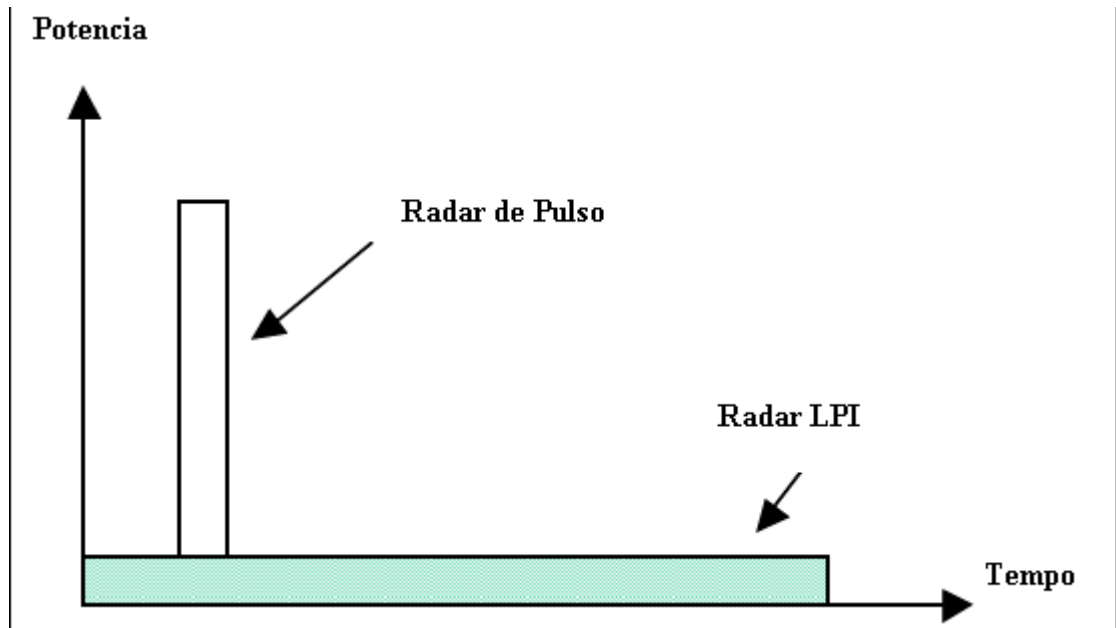


Figura 4.4 Comparação entre Radar pulsado e Radar LPI

Gerenciamento de Potência preciso

Inicialmente a ideia de um radar evitar ser detectado por um alvo, antes mesmo de conseguir detectá-lo, parece algo pouco provável. Todavia existem possibilidades fundamentadas matematicamente que viabilizam esse fato. É nesse contexto que está inserido o gerenciamento de potência, que se trata de uma técnica de radar, que vem se tornando cada vez mais prática com as melhorias no processamento digital de sinais.

O gerenciamento de potência é a capacidade de controlar o nível de energia emitido pela antena, e limitar a energia para a adequada detecção da seção reta radar exigida. Não há dúvidas que a melhor estratégia de LPI é não irradiar, a que vem em seguida é a capacidade de gerenciar a energia irradiada.

As emissões também ocorrem com limites de tempo (tempo curto de permanência). Com o uso de emissões CW de compressão de pulso de banda larga, é necessário apenas transmitir alguns watts (em vez de dezenas de quilowatts de potência de pico exigidos por radares pulsados de baixo ciclo com desempenho de detecção similar). É importante lembrar que a capacidade do radar de detectar alvos não depende das características da forma de onda, mas da energia transmitida retornada do alvo.

Diversos receptores de interceptação precisam perceber um aumento na energia interceptada, mantendo a energia irradiada gerenciada precisamente, o radar emite apenas o limiar necessário para a detecção. Com a diminuição da potência interceptada, o receptor identifica a ameaça como não se aproximando, deixando de alertar para um possível contra-ataque, decisão que pode ser determinante para o resultado de um combate, podendo ocasionar em perdas irreparáveis.

Frequência de portadora escolhida nos picos de absorção

Escolher estrategicamente a frequência do emissor é mais uma das técnicas de radar LPI. Utilizar uma faixa de frequência de operação alta que esteja dentro das linhas de absorção atmosférica dificulta a interceptação, porém na maioria dos casos também irá gerar transtornos na detecção do alvo pelo radar. O ideal é que sejam utilizadas frequências nas quais ocorre a absorção máxima, isso fará com que a atenuação seja maximizada, para mascarar o sinal de transmissão e limitar a recepção por receptores hostis. A utilização de uma frequência de radar que esteja fora da faixa de trabalho dos receptores é outra opção para frequências portadoras de radar LPI.

Detecção Coerente

A detecção coerente é mais uma das técnicas usada pelos radares do LPI para dificultar a interceptação. Para que um receptor consiga obter uma detecção coerente de um sinal radar, é necessário que este tenha conhecimento dos detalhes paramétricos do sinal. A utilização de modulação aleatória do sinal, faz com que essa técnica seja ainda mais efetiva

Radares que usam modulação de ruído real são chamados de radares de sinal aleatório (RSR). Este tipo de radar correlaciona o sinal de retorno com uma amostra atrasada do sinal transmitido. A quantidade de atraso necessária para o pico da correlação determina o intervalo de um alvo. Como o sinal transmitido é completamente aleatório, o receptor interceptador não tem referência para correlacionar o sinal recebido.

Ganho de processamento alto

O ganho de processamento tem o efeito de estreitar a largura de banda efetiva do receptor de radar aproveitando a modulação do sinal. Assim, o receptor de radar atinge um ganho de processamento enquanto o receptor hostil não consegue. Um radar LPI alcança vantagem de largura de banda sobre um receptor de interceptação porque o radar conhece seu próprio sinal. Em contraste, o receptor de interceptação deve aceitar uma ampla faixa de sinais e deve tipicamente fazer medições paramétricas detalhadas para identificar o tipo de sinal que está recebendo.

Compressão de Pulso

A técnica de radar LPI mais comum se dá através da redução do pico de energia irradiada efetiva pelo radar, usando alguma forma de compressão de pulso. A intenção é que seja feito o espalhamento do sinal radar por uma ampla largura de banda e por um determinado período de tempo. Os principais tipos de forma de onda de radares LPI são: **FMCW** (frequency modulation CW), **PSKCW** (phase Shift Keying CW), **FSKCW** (frequency shift keying CW), **FSK/PSK CW** e **Técnicas de ruído**.

FMCW é a técnica mais popular, mais simples e fácil de implementar com transmissores de estado sólido. Possui alta largura de banda no tempo o que os torna muito resistentes à interceptação, além de oferecer boa resolução de alcance.

As técnicas PSK resultam em uma forma de onda de alto alcance com alta SNR. Também são compatíveis com novos hardwares de processamento digital de sinal, e com uma variedade de técnicas de supressão do lóbulo lateral. Uma grande variedade de códigos PSK, como códigos binários de mudança de fase, códigos polifásicos e códigos polytime, pode ser implementada.

PSKCW - *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*, atualmente não é muito usada em radares LPI. Neste sistema de modulação, quando há uma transição de um bit 0 para um bit 1 ou de um bit 1 para um bit 0, a onda portadora sofre uma alteração de fase de 180 graus. Quando não há nenhuma destas transições, ou seja, quando bits subsequentes são iguais, a portadora continua a ser transmitida com a mesma fase. Pode utilizar o Código de Barker, o Código de Barker Composto ou o código pseudorrandômico

PSKCW - *Polyphase Codes*, as vantagens desse tipo de forma são: fácil de implementar e compatível com implementação digital. As desvantagens são: quando o incremento de fase

se torna menor, o equipamento necessário para gerá-los torna-se mais complexo e, portanto, mais caro.

PSK CW - *Polytime Codes*, as formas de onda são desenvolvidas através da variação da fase de acordo com degraus de frequência ou uma forma de onda linear de frequência.

FSK CW, esta forma de onda, utiliza saltos de frequência. Pode utilizar códigos secretos de saltos em frequência ou códigos conhecidos. Possui arquitetura e circuitos simples.

FSK/PSK CW - Técnica híbrida que combina o FSK (saltos de frequência) utilizando a sequência de Costa com a modulação PSK utilizando sequências de Barker de tamanhos diversos.

Técnicas de Ruído - Não possui transmissão. Possui diversos receptores localizados em diferentes pontos que coletam e analisam as reflexões de sinais gerados por emisoras de televisão e estações de rádio, por exemplo. CPUs com grande capacidade de processamento comparam os sinais recebidos diretamente com aqueles refletidos, calculando a localização de possíveis alvos.

4.4 EXEMPLOS DE RADARES LPI

Nesta seção serão apresentados alguns exemplos de radares LPI aéreos e marítimos, abordando algumas de suas principais características. Na análise operativa de uma batalha, a consciência situacional e a avaliação de ameaças são alcançadas usando radares de vigilância tática para detectar e rastrear alvos. Para operações encobertas, a detecção e o rastreamento de alvos devem ser os mais silenciosos possível. Esses sistemas devem empregar a tecnologia LPI para diminuir a probabilidade de detecção passiva por forças hostis; isto é, "ver sem ser visto".

4.4.1 Radares LPI Aéreos

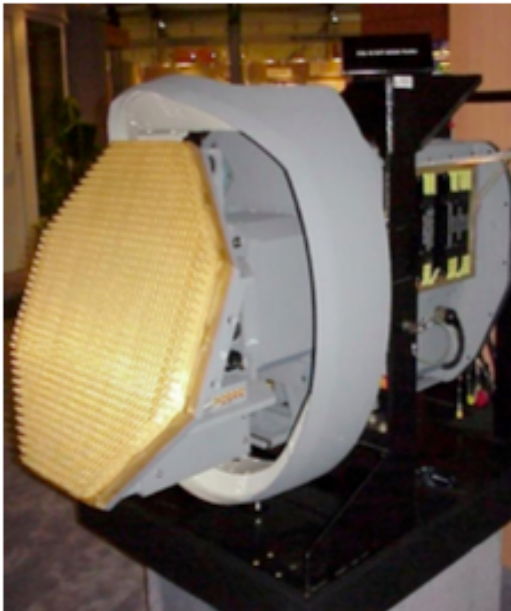
Os radares LPI aerotransportados são usados para busca, rastreamento, localização, identificação, aquisição, designação, geração de imagens, detecção de periscópio e entrega de armas. Esses radares LPI também têm modos para navegação secreta, detecção de tempo e acompanhamento de terreno. Seguem abaixo os exemplos de radares de LPI no ar:



Radar multimodo AN/APG-77: O radar multimodo AN/APG-77 (Northrop Grumman com Raytheon) do caça tático F/A-22 Raptor incorpora uma matriz de varredura eletrônica ativamente baixa e observável (AESA - incorporando aproximadamente 2.000 módulos de transceptor) e é descrito como oferecendo detecção de veículos de longo alcance, multialvo, para qualquer tempo, invisível, coleta de inteligência eletrônica e múltiplos recursos de engajamento de mísseis. O array ativo fornece agilidade de frequência, baixa seção de radar, direção de feixe ágil e uma ampla capacidade de largura de banda típica do radar LPI. (Jane's Radar and Electronic Warfare Systems 2004)

Figura 4.5 A Antena AESA Utilizada no Radar AN/APG-7727

Fontes ainda não confirmadas sugerem que o APG-77 tem uma faixa operacional típica de 193 km e é especificado para alcançar uma probabilidade de interceptação de 86% contra um alvo de 1 m² em sua faixa máxima de detecção usando uma única pintura de radar (Jane's Radar and Electronic Warfare Sistemas 2004).



Radar AN/APG-79 AESA : APG-79 O radar ativo de varredura eletrônica (AESA) é projetado para instalação a bordo da família F/A-18E/F de aeronaves de combate multi eixo, incluindo derivados de guerra eletrônica EA-18G. O array ativo do equipamento é descrito como o uso de módulos transceiver de sexta geração, como sendo um equipamento multifuncional de banda larga e como suporte a uma variedade de formas de onda para os modos de guerra ar-ar, ar-solo e eletrônico.

Figura 4.6 Radar AN/APG-79 AESA

O receptor/excitador do radar possui quatro canais com geração de formas de onda programáveis e é considerado como oferecendo sinais de agilidade de largura de banda/

frequência de rádio/ruído baixo/espúrios. O sensor tem um alcance superior a 100 nm (180km) - quase o dobro de alguns dos radares de hoje - e pode rastrear mais de 20 alvos simultaneamente (Jane's Radar e Electronic Warfare Systems 2004)

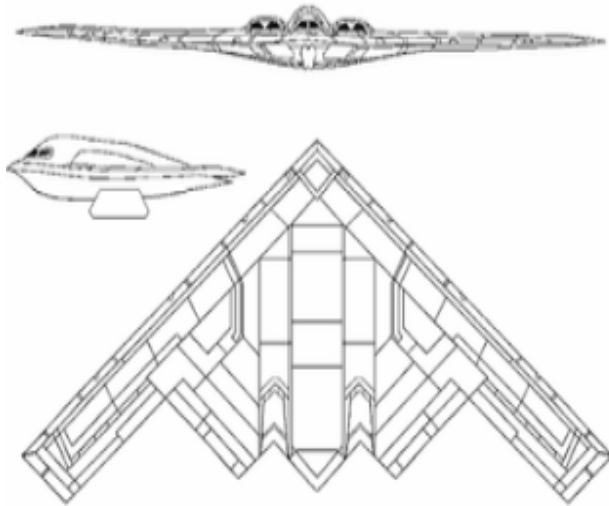


Figura 4.7 B-2 Spirit Stealth Bomber

O **AN/APQ-181** é o radar LPI projetado especificamente para o bombardeiro stealth B-2 Spirit que está em uso pela Força Aérea dos EUA e mostrado na Figura 4.6. O radar opera na banda J usando 21 modos separados para seguir o terreno, navegação, busca de alvo, localização, identificação, aquisição e entrega de armas.

O radar emprega duas antenas de matriz digitalizadas eletronicamente e técnicas avançadas de LPI que combinam com as qualidades gerais de stealth da aeronave. A antena é dirigida eletronicamente em duas dimensões e possui um projeto de alimentação de monopulso para permitir precisão angular de largura de feixe fracionária.



O **Radar Multimodo AN/APS-147** é um radar de abertura sintética inversa (ISAR) que equipa o helicóptero multimissão MH-60R da US Navy (USN) com um radar que possui um sinal de alto rendimento e processamento de dados.

Figura 4.8 AN/APS-147 Radar Multimodo

O AN/APS-147 usa flexibilidade através de programabilidade, fornecendo um produto otimizado para a missão de vigilância marítima. O processamento avançado permite que o APS-147 use uma coleção de formas de onda para executar sua missão com uma potência de saída substancialmente menor do que as contrapartes tradicionais em radares de vigilância

marítima. Isso resulta em um radar com uma probabilidade de interceptação extremamente baixa. Usando uma forma de onda de baixa potência de pico com agilidade de frequência, o radar pode detectar alvos de médio a longo alcance sem a ameaça de interceptação de sistema de suporte de guerra eletrônica (Jane's Radar e Electronic Warfare Systems 2005).

4.4.2 Radares LPI Marítimos

Assim como as técnicas de LPI são úteis para navegação encoberta e direcionamento para aplicações aéreas, elas são igualmente úteis para aplicações marítimas encobertas. O LPI é adequado para esse ambiente, pois a velocidade relativamente lenta do navio permite longos tempos de integração e seções cruzadas de radar extremamente grandes.

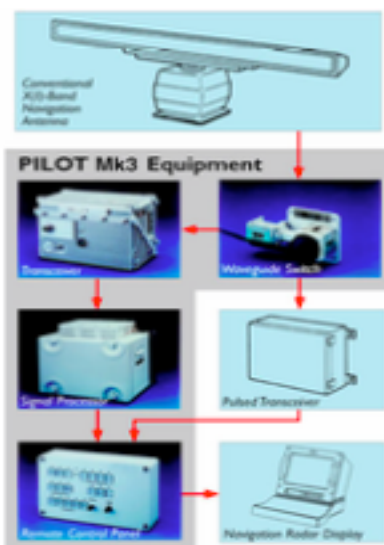


Figura 4.9 Radar PILOT MK3 LPI

PILOT MK3 LPI Radar de Navegação e Detecção: A Saab Bofors desenvolveu o novo Pilot Mk3 LPI, um radar de navegação e detecção para todas as aplicações e uma nova versão do Mk2, com desempenho melhorado do LPI para uso em pequenos navios e submarinos. O PILOT Mk3 padrão pode ser usado para navegação, monitoramento de aproximação por helicóptero e detecção geral de alvos. O princípio FMCW para propósito de LPI possibilita um nível de potência de saída muito baixo (onda contínua de 1W, selecionável até 1 mW)

A baixa potência faz com que o sistema de interceptação tenha um alcance de detecção muito curto, enquanto o PILOT tem a mesma faixa de detecção de radar de navegação que um radar convencional pulsado com níveis máximos de potência de vários kW. O novo Mk3 possui agilidade de frequência, o que dificulta muito a probabilidade de detecção.



Figura 4.10 Radar SCOUT LPI

Radar de Vigilância e Navegação SCOUT LPI: Scout é um radar I-band (8 a 10 GHz) com alcance máximo de 20 MN usando técnicas FMCW com baixa potência do transmissor (selecionável pelo operador 10 mW, 100 mW ou 1 W) para fins de LPI. Foi modificado e melhorado a partir do conceito de radar FMCW Pilot pela Thales (Holanda). O SCOUT é usado em corvetas de seção transversal especialmente baixas e embarcações de patrulha rápida. As variantes do Scout Mk 2 (S) estão sendo oferecidas para uso em aplicações de vigilância costeira móvel ou fixa (Jane's Radar and Electronic Warfare Systems 2006).

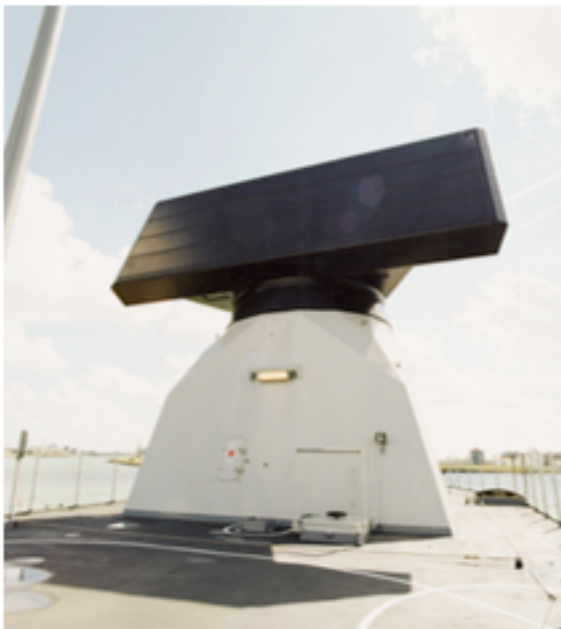


Figura 4.11 Radar SMART-L D-Band

Radar de banda D SMART-L: O SMART-L é um radar de busca de volume 3D, sólido, capaz de detectar e rastrear até 1.000 alvos, incluindo aeronaves de patrulha marítima com 400 km e alvos de mísseis stealth até 55 km. O radar possui um modo integrado de vigilância de superfície de banda I/ J de baixa probabilidade de interceptação, usando técnicas de FMCW retiradas do programa de radar de navegação secreta Scout da Signaal (Jane's Radar and Electronic Warfare Systems 2006).

4.5 Detecção de Radares LPI

Os receptores de interceptação, tais como o MAGE, não são aprimorados para a detecção de radares LPI, já que não possuem sensibilidade para detectar os sinais em alcance suficiente para fornecer às equipes militares uma vantagem na faixa operacional. Os radares LPI utilizam avançadas técnicas de radar e processamento de sinais “para ver e não ser visto” pelos receptores. Para sobreviver às ameaças e mascarar sua presença, os radares LPI usam: Antenas de lóbulos secundários reduzidos, padrões de varredura de antena irregulares, transmissão de banda larga, gerenciamento preciso de potência, frequências de portadora escolhida nos picos de absorção, detecção coerente, alto ganho de processamento e ainda compressão de pulso.

Para conseguir bloquear efetivamente sinais de radar LPI, os receptores e sistema de interceptação devem cumprir etapas específicas. O primeiro e mais importante passo é a detecção, pois sem ela nenhuma contramedida é possível, porém para realizar essa detecção, faz-se necessário superar três principais dificuldades, são elas: Integração coerente do radar LPI, exigência de alta sensibilidade e ganho de processamento do radar LPI.

O receptor deve proporcionar uma sensibilidade suficiente para detecção de sinais de radar LPI com propriedades de amplo espectro e deve proteger seu circuito contra os pulsos de alta potência de pico, de curta duração dos radares convencionais na mesma banda.

A detecção de sinais de radar LPI requer um grande ganho de processamento por causa da natureza de banda larga do radar LPI. O sinal deve ser observado em um período longo. Durante esse tempo, um processo especial deve ser usado para assegurar que o ruído não está sendo adicionado.

Como a codificação é desconhecida e pode ser complexa, e assumindo que a frequência também é desconhecida, então a detecção coerente não é possível e deve ser executado em primeiro lugar a detecção não coerente.

Logo após o processo de detecção, vem a tarefa de classificação do sinal. Para tal faz-se necessária, uma ordenação do sinal em grupos com parâmetros semelhantes. Parâmetros, tais como: Tipo de radar LPI, frequência da portadora, largura de banda de modulação, o período de modulação, período de Código além ainda do tempo e ângulo de chegada.

5 CONCLUSÃO

As mudanças no ambiente de sinal, ocorrem em ritmo acelerado, em todo o mundo, equipamentos com o mais elevado grau de tecnologia entram em operação, os radares LPI são um exemplo claro dessa inovação. Esses radares utilizam menor potência e maior ciclo de trabalho que os radares anteriores. A tendência é que a porcentagem de radares que emitam sinais LPI continue crescendo com o avançar dos anos, sendo empregados em todas as classes de radar, incluindo navegação, nos campos de batalha, vigilância, aquisição de alvos dentre outras.

Assim como as técnicas de LPI são úteis para navegação encoberta e direcionamento em aplicações aéreas, elas são igualmente úteis para aplicações marítimas. O LPI é bem adequado para esse ambiente, pois a velocidade relativamente lenta de um navio e as seções transversais de radar extremamente grandes permitem longos tempos de integração.

As diversas técnicas de LPI que são utilizadas contribuem para que a relação entre radares e equipamentos e sistemas de interceptação, seja posta em debate, haja vista que sempre existiu considerável vantagem por parte dos interceptadores, que detectavam as ondas eletromagnéticas a uma distância significativa para o contexto de combate.

O aprimoramento, domínio e por consequência a difusão dos radares LPI gera um desafio imediato para os receptores, desafio este que exige além dos requisitos de sensibilidade a detecção de sinais de radar LPI, traz a necessidade de receptores cada vez mais sofisticados que utilizam técnicas de processamento de sinal, e algoritmos de correlação afim de superar o ganho de processamento do radar LPI.

O Dinamismo que caracteriza a evolução tecnológica nos dias atuais, define de forma sucinta e clara a relação ente Radares LPI e receptores de interceptação. Ambos continuam em constante evolução, receptores cada vez mais sensíveis e radares praticamente invisíveis, levando a Guerra Eletrônica a patamares mais sofisticados e complexos.

5.1 Considerações Finais

Ao analisarmos as características e o modo de funcionamento dos Radares LPI, bem como sua relação com os receptores de interceptação, podemos entender um pouco mais a

respeito do cenário atual da Guerra Eletrônica de maneira geral, cenário este caracterizado por intenso dinamismo, pois para cada evolução relativa a tecnologia LPI haverá uma reação no que diz respeito aos interceptadores. A busca constante pelo domínio das técnicas mais inovadoras, é sem dúvida o fator catalizador dos estudos a respeito dos radares LPI, tendo sempre como objetivo maior estar um passo a frente do inimigo, garantindo o constante aprimoramento de equipamentos, e do pessoal especializado na operação dos mesmos. Para que uma nação possa estar apta a enfrentar possíveis conflitos, é de fundamental importância que sejam desenvolvidos estudos na área de GE, principalmente em relação a tecnologia LPI, tendo em vista a vantagem que a mesma trouxe em relação aos radares pulsados, afim de possibilitar a detecção de possíveis ameaças antes de ser interceptado.

5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

As técnicas LPI podem colocar o radar de volta ao centro das atenções, aumentando a importância dos sensores táticos dos navios. A ideia de se obter a detecção do inimigo, sem obrigatoriamente revelar a presença da plataforma emissora, traz uma série de mudanças táticas, tanto nos requisitos defensivos de uma Força Naval como na postura ofensiva, gerando uma fonte de estudo bastante interessante.

A competição entre os radares LPI e os equipamentos de interceptação nunca permanecerá estática. Para cada melhoria nas técnicas LPI, haverá uma reação dos interceptadores. Os desenvolvedores de radar seguirão explorando o processamento de sinais que não podem ser copiados pelos equipamentos MAGE e seus receptores, qualquer estudo realizado a respeito de novas formas de desequilibrar essa relação, quer seja a favor dos radares, ou dos interceptadores é de grande relevância dentro do cenário da Guerra Eletrônica.

REFERÊNCIAS

ANJANEYULU, L. MURTHY, N.S. A Novel Method for Recognition of Modulation Code of LPI Radar Signals. **International Journal of Recent Trends in Engineering**, 03 mai. 2009.

Apostila utilizada nas aulas de Introdução a Guerra Eletrônica, Professora Denise Dargam.

BRASIL. Comando de Operações Navais. **ComOpNav 521 - Manual de Guerra Eletrônica**. Rio de Janeiro, 2005.

DE OLIVEIRA, Marcello Lima. MARQUES DIAS, João Cândido. **LPI: Radares Invisíveis; Como os Radares LPI (Low Probability of Intercept) Podem Mudar a Tática**. Revista Passadiço. Rio de Janeiro: CAAML, 2007.

DIAS, Pedro Eduardo de Sousa; NETTO, Flávio Oliveira da Silva. **O ensino de Guerra Eletrônica no CIGE: perspectivas para o futuro**. Disponível em: <http://www.ccomgex.eb.mil.br/cige/sent_colina/3_edicao_ago_06/Artigos/Art_EnsinoGE_CapSDiasCapNetto.PDF>. Acesso em: 07 de novembro de 2017.

FAZANO, Carlos Alberto. **A idade do Elétron - 100 anos de progresso na eletrônica**, 2012.

GOMES PAULA, Victor Magno. **GUERRA ELETRÔNICA: A TECNOLOGIA AUTÓCTONE DA MARINHA DO BRASIL**, 2009. Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Disponível em: <<http://www.ecsbdefesa.com.br/defesa/fts/GEMB.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017

Jane's Radar and Electronic Warfare Systems. 2006. Battlefield, missile control and ground surveillance radar systems.

Neri, Filippo. 2006. **Introduction to Electronic Defense Systems**. Artech house radar library. Boston: Artech House.

Pace, Phillip E. 2009. **Detecting and classifying low probability of intercept radar**. Artech house radar library. Boston: Artech House.

Poder Aéreo <<http://www.aereo.jor.br/2015/07/13/indra-fornecera-dois-radares-de-vigilancia-a-otan-por-22-milhoes-de-euros/>>. Acesso em: 28 abr. 2018