

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

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÕES

1ºTen GUSTAVO WANDERLEY DE ALMEIDA



USO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DE ALTA FREQUÊNCIA PARA
TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÕES POR MEIO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGENS

Rio de Janeiro
2020

1ºTen GUSTAVO WANDERLEY DE ALMEIDA

USO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DE ALTA FREQUÊNCIA PARA
TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÕES POR MEIO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGENS

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Wandenkolk como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em
Segurança das Informações e Comunicações.

Orientadores:

Capitão Tenente (EN) Antonio José Ferreira Vieira

Guilherme Ribeiro Colen, D. Sc.

CIAW
Rio de Janeiro
2020

Almeida, Gustavo Wanderley de.

Uso do espectro eletromagnético de alta frequência para transmissão de informações por meio de processamento digital de imagens / Gustavo Wanderley de Almeida. – Rio de Janeiro, 2020.

65f.: il.

Orientador: CT(EN) Antônio José Ferreira Vieira;
Prof. Dr. Guilherme Ribeiro Colen.

Monografia (Curso de Aperfeiçoamento Avançado de Segurança da Informação e Comunicações) – Centro de Instrução Almirante Wandenkolk, Rio de Janeiro, 2020.

1. Espectro Eletromagnético. 2. HF. 3. Imagens. 4. Segurança da Informação. I. Centro de Instrução Almirante Wandenkolk. II. Título.

1ºTen GUSTAVO WANDERLEY DE ALMEIDA

USO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DE ALTA FREQUÊNCIA PARA
TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÕES POR MEIO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGENS

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Wandenkolk como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento
Avançado em Segurança da Informação e
Comunicações.

Aprovada em _____ de _____ de _____.

Banca Examinadora:

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

CT (EN) Antônio José Ferreira Vieira – DCTIM

Guilherme Ribeiro Colen, D. Sc. – CIAW

CIAW
Rio de Janeiro
2020

Dedico este trabalho aos meus queridos pais Lígia e Valdemir, aos quais eu devo tudo o que sou e o que alcancei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada do que almejei durante toda a minha vida seria possível. Aos meus pais, Lígia e Valdemir pelo apoio incondicional e amoroso em todas as etapas que vivi e pelos seus sábios conselhos. À minha noiva Renata, por sua cumplicidade aos meus objetivos, seu carinho e por abdicar de alguns momentos comigo em prol da confecção deste presente trabalho. Ao coordenador do curso de Segurança das Informações e Comunicações Capitão de Mar e Guerra (RM1-EN) Gian Karlo Huback, por sua acessibilidade, orientações e apreço. Aos meus orientadores, Capitão Tenente (EN) Antônio José Ferreira Vieira e Professor Guilherme Ribeiro Colen, por suas orientações e apoio a mim dispensados. Aos meus amigos e colegas Oficiais alunos do curso de Segurança das Informações e Comunicações, pelo convívio, amizade e ajuda mútua, não só para a conclusão deste trabalho como também para a conclusão do curso.

“Boas oportunidades geralmente vêm disfarçadas de trabalho duro, é por isso que muitos não as abraçam.”

(Annlanders)

USO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DE ALTA FREQUÊNCIA PARA TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÕES POR MEIO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Resumo

É notória a importância da manutenção das comunicações na faixa de alta frequência, como um recurso capaz de transmitir voz e dados a longas distâncias e em situações em que os demais meios de comunicações estejam indisponíveis. Porém, um dos fatores que limita sua utilização é a exposição do sinal a possíveis interceptações. Assim, implementar técnicas de forma a dificultar a análise deste sinal é de extrema relevância para a manutenção do sigilo das informações. Este trabalho apresenta uma proposta de transmissão de informações, utilizando imagens, por meio do correto tratamento dos dados no processo de obtenção, manuseio e transmissão. Este correto tratamento pode ser obtido através da boa utilização dos recursos computacionais disponíveis. Assim sendo, torna-se imprescindível que haja o pleno entendimento, por parte dos operadores de transmissão e recepção de um sinal contendo dados, acerca dos elementos do sistema que envolve todo o processo de tráfego do sinal, permitindo a telecomunicação. Este sistema engloba desde o espectro eletromagnético, que é o meio livre de transmissão, passa pelas características e capacidades dos sistemas de transmissão na faixa de frequências de transmissão escolhida, que determinarão seu comportamento no meio livre e seu alcance e finalmente abrange o correto tratamento dos dados, de forma a permitir que haja a compatibilidade com os equipamentos dotados, manutenção da inteligibilidade dos dados bem como o seu tráfego seguro.

Palavras-chave: Espectro Eletromagnético. HF. Imagens. Segurança da informação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	Camadas da atmosfera terrestre e sua temperatura	22
Figura 2.2 –	Camadas da atmosfera terrestre e sua condutividade	22
Figura 2.3 –	Console de uma Ionossonda	26
Figura 2.4 –	Modelo de antena Ionossonda	26
Figura 2.5 –	Cobertura da propagação NVIS	27
Figura 2.6 –	Zona de silêncio em NVIS	28
Figura 2.7 –	Propagação de ondas em HF	30
Figura 2.8 –	Panorama de Atuação na GE	35
Figura 2.9 –	Organização da CGE	36
Figura 2.10 –	Triangulação da Posição Inimiga	41
Figura 2.11 –	Panorama das MAGE	42
Figura 2.12 –	Divisão das MAE	43
Figura 2.13 –	Divisão das MPE	44
Figura 4.1 –	Imagem Original	49
Figura 4.2 –	Imagem Convertida Para Tons de Cinza	51
Figura 4.3 –	Imagem Recuperada	60
Figura 4.4 –	Script de Transmissão	61
Figura 4.5 –	Script de Recepção	61
Figura 4.6 –	Código Geral	61

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGARD	<i>Advisory Group for Aerospace Research and Development</i>
AGE	Atividades de Guerra Eletrônica
ALE	<i>Automatic Link Establishment</i>
APEL	Aprestamento Eletrônico
ARQ	<i>Automatic Repeat Request</i>
BID	Base Industrial de Defesa
C ²	Comando e Controle
CGE	Capacidade de Guerra Eletrônica
DF	<i>Direction Finding</i>
DFT	<i>Discrete Fourier Transform</i>
END	Estratégia Nacional de Defesa
EUV	<i>Extreme Ultra Violet</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
HF	Alta Frequência (<i>High Frequency</i>)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IMINT	Inteligência de Imagens
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INTCOM	Inteligência de Comunicações
INTELT	Inteligência Eletrônica
IoT	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i>)
GE	Guerra Eletrônica
MAE	Medidas de Ataque Eletrônico
MAGE	Medida de Apoio à Guerra Eletrônica

MATLAB	<i>Matrix Laboratory software</i> da empresa MathWorks
MPE	Medidas de Proteção Eletrônica
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
NVIS	<i>Near Vertical Incident Skywave</i>
OTH	<i>Over The Horizon</i>
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RETRON	Reconhecimento Eletrônico
RGB	<i>Red Green Blue</i> esquema de codificação de imagens
STEC	<i>Slant Total Electronic Content</i>
SNT	Sistema Nacional de Telecomunicações
SISMC ²	Sistema Militar de Comando e Controle
TEC	<i>Total Electronic Content</i>
TECU	<i>Total Electronic Content Unit</i>
TELINT	<i>Telemetry Intelligence</i>
VOACAP	<i>Voice of America Coverage Analysis Program</i>
VTEC	<i>Vertical Total Electronic Content</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Apresentação do Problema	13
1.2	Justificativa e Relevância	14
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	Etapas do Trabalho	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Ionosfera	18
2.1.1	Camadas Ionosféricas	20
2.1.2	Conteúdo Eletrônico Total	22
2.1.3	Instrumentos de Medição Ionosférica	22
2.1.4	Propagação NVIS	24
2.1.5	Frequência Crítica	25
2.2	Transmissões em HF	26
2.2.1	Breve Histórico das comunicações em HF	28
2.3	Noções Sobre Guerra Eletrônica	31
2.3.1	Campo de Atuação da Guerra Eletrônica	32
2.3.2	Capacidade de Guerra Eletrônica	34
2.3.3	Atividades de Guerra Eletrônica	35
2.3.4	Medidas de Guerra Eletrônica	38
3	METODOLOGIA	44
3.1	Classificação da Pesquisa	44
3.1.1	Quanto aos fins	44
3.1.2	Quanto aos meios	45
3.2	Limitações do Método	45
3.3	Universo e Amostragem	46
3.4	Coleta e Tratamento de Dados	46
4	DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	47

4.1	Tratamento da Imagem	47
4.1.1	Conversão Para Tons de Cinza	48
4.1.2	Codificação Para Transmissão	49
4.1.3	Quantização Para Transmissão	52
4.1.4	Binarização Para Transmissão	54
4.1.5	Remodelagem do Sinal Para Recepção	55
4.1.6	Quantização Inversa Para Recepção	56
4.1.7	Decodificação Para Recepção	56
4.1.8	Panorama Geral	58
5	CONCLUSÃO	61
5.1	Considerações Finais	62
5.2	Sugestões para Futuros Trabalhos	62

1 INTRODUÇÃO

Conforme presenciemos o avanço das tecnologias civis e militares acerca da construção, estruturação e emprego das comunicações torna-se cada vez mais necessário o conhecimento consistente sobre suas variáveis e funcionamento. Dito isto e obedecendo aos preceitos estabelecidos pela Doutrina de Inteligência da Marinha, é necessário vigiar e aprimorar os conhecimentos acerca dos campos internos e externos às forças militares navais, de forma a proporcionar uma adequada preparação de pessoal e material diuturnamente, para um eficiente emprego de nossos recursos (BRASIL, 2009).

Dado este cenário e esta necessidade de aprimorar conhecimentos, estudaremos neste trabalho formas de funcionamento e tratamentos para que possa haver uma utilização do espectro eletromagnético de forma mais segura, especificamente na faixa de *High Frequency* (HF), a partir da utilização de métodos de proteção não convencionais.

O bem o qual queremos proteger trata-se do ativo de informação, que segundo Brasil (2015a) consiste em qualquer pessoa ou sistema que possa de alguma forma interagir com atividades de informação, transmissão ou processamento. O enfoque neste trabalho se dará de forma a convergir para uma solução na qual é possível a transmissão de informações, convertidas em imagens, utilizando o espectro de alta frequência e que tenham recebido um tratamento computacional, com o intuito de impossibilitar a análise das informações contidas no sinal.

1.1 Apresentação do Problema

As comunicações em HF propagam-se no meio livre utilizando como vetor as ondas eletromagnéticas que são regidas pelas leis inerentes aos campos elétrico e magnético. Estas ondas, porém, possuem uma série de peculiaridades as quais são interativas com o meio e podem sofrer alterações em suas características componentes.

É fundamental a correta compreensão do comportamento da transmissão destas ondas, mesmo que de forma generalista, de forma a subsidiar a previsão de suas interações com o meio em que se propagam, de modo a obter um resultado consistente através de uma correta comunicação, com confiabilidade estimável.

Com a liberdade de interceptação pertinente ao meio de propagação, torna-se livre esta prática. Aliado a isto, ocorre a interferência dos sinais emitidos através da emissão de outros sinais, por parte do interceptador, cuja interação com o sinal que se quer interferir tem comportamentos conhecidos e esclarecidos pelos estudos científicos. Sendo assim, o enfoque não mais se dá exclusivamente aos métodos de transmissão, é necessário um enfoque de igual esforço na proteção da integridade dos dados a transmitir, bem como sua autenticidade e confidencialidade (BRASIL, 2015b), os quais são tratados como fundamentais pelo Sistema Militar de Comando e Controle (SISMC²).

Nas comunicações militares, a manutenção dos requisitos fundamentais deve ser encarada como prioridade. O investimento em segurança possui um aspecto dicotômico, pois ao passo em que demandamos esforço para proteger nossos ativos contra as tentativas de quebra de nossa soberania, buscamos explorar vulnerabilidades alheias, de forma a incrementar os relatórios de inteligência e consolidar um banco de dados com valor tático e estratégico.

A Marinha do Brasil, vislumbrando a necessidade de um esforço dedicado à segurança dos sinais transmitidos e da pronta resposta às tentativas de interceptação da comunicação que se quer proteger, resolveu criar em 2009 o Centro de Guerra Eletrônica da Marinha (CGEM). A missão desta Organização Militar é o avançado estudo acerca dos fatores componentes de uma Guerra Eletrônica (GE), de forma a produzir dados de inteligência e capacitar o pessoal militar através de um melhor entendimento sobre o assunto.

Dado este cenário, com vistas às considerações acima, será o foco deste trabalho a tentativa de contribuição para realização de comunicação efetiva e segura, com detalhamento na parte de inteligência de imagens na faixa de HF.

1.2 Justificativa e Relevância

As comunicações em HF atuam como um sistema de comunicação contingente, com características de rapidez, robustez e flexibilidade. Desta forma, faz-se mister a sua manutenção e a preservação do domínio de seu bom uso. Atualmente, a ciência se depara com alguns desafios chave em prol de fornecer contribuição para a indústria através de melhoramentos sobre os sistemas já existentes e propostas para soluções necessárias ao avanço tecnológico deste modelo de propagação (WANG; DING; WANG, 2018).

A melhora na confiabilidade é essencial, pois as comunicações em HF tem como vetor a onda eletromagnética, que para grandes distâncias viaja pelas camadas ionosféricas. As

camadas por sua vez possuem fatores mutáveis e que são previsíveis até certo ponto, tornando instável o conjunto de condições pré-estabelecidas para a tentativa de configuração de um enlace e a execução da comunicação.

O uso do espectro HF proveniente de várias fontes e de forma simultânea contribui para a elevação do ruído na ordem de dezenas de dB. Estes ruídos podem também ser provenientes das técnicas de interceptação e interferência dos sinais, que é feita de forma intencional e controlada.

É necessário o aumento das taxas de transferência de dados, posto que uma grande dificuldade das comunicações em HF é prover taxa de transferência que possa suportar a transmissão de vídeos e imagens. O grande interesse nesta capacidade reside no fato de estes dados possuírem um papel essencial quando se trata da agilidade das comunicações e do aprimoramento dos sistemas de vigilância e Comando e Controle (C2¹), através da transmissão de dados mais enriquecidos em termos de informação transmitida.

Outro fator fundamental é a melhora de resposta ao acesso remoto em grande escala, pois as comunicações em HF possuem predominância nos modelos ponto a ponto e ponto-multiponto, nos quais se transmite de uma fonte para um receptor ou vários receptores, respectivamente. Com o passar do tempo, o aumento do uso do espectro na faixa de HF tanto nas áreas de produção civil quanto nas áreas de pesquisas e aplicações militares propiciou o aumento da presença de rádios HF, os quais se propagaram de forma abrangente, mesmo em dispositivos que suportam a *Internet of Things* (IoT) que possui o papel fundamental de interconectar dispositivos que não necessariamente possuem a mesma interface de operação. Sendo assim, deparamo-nos com grande escala de uso, uso este que muitas vezes será feito em distâncias superiores às distâncias convencionais de comunicações em redes celulares por exemplo. Este uso crescente confronta diretamente a principal restrição do espectro eletromagnético, que é um recurso natural e limitado.

Segundo Vieira (2017), é importante a manutenção dos sistemas de comunicação em HF para o âmbito das Forças Armadas, em especial para a Marinha do Brasil, sob o aspecto do conceito de “comunicação de último recurso”, de forma a preservar uma resposta em caso de colapso do Sistema Nacional de Telecomunicações (SNT).

Nos últimos anos, pudemos verificar o efetivo uso das comunicações em HF como último recurso, ressaltamos os casos de catástrofes como, por exemplo, o Furacão Katrina

¹ O conceito de C² é simultaneamente, ciência e arte. Trata do funcionamento de uma cadeia de comando e envolve três elementos imprescindíveis e interdependentes, são eles: a autoridade, o processo decisivo e a estrutura (BRASIL, 2015c).

ocorrido em 2005 e o Furacão Harvey ocorrido em 2017, ambos nos Estados Unidos, onde informações de segurança e de emergência foram disseminadas mesmo após a destruição de infraestruturas das telecomunicações, através de rádios em HF.

1.3 Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram definidos com a prioridade de fornecer subsídios à tomada de decisão aos Oficiais e Praças da Marinha do Brasil, em especial àqueles que trabalham diretamente com a configuração e operação de *hardwares* e *softwares* atrelados à execução das comunicações em HF.

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho possui como objetivo geral prover um melhor entendimento acerca do comportamento de um sinal de onda no espectro eletromagnético atravessando a ionosfera e do sistema de propagação de uma onda transmitida em HF,

1.3.2 Objetivos Específicos

Em concordância e apoio ao objetivo geral, a presente obra visa, através do cumprimento das vigentes doutrinas e políticas do âmbito militar naval, ampliar conhecimentos sobre a GE e a Inteligência de Imagens (IMINT), oferecendo um método específico e alternativo para a promoção de uma comunicação segura.

1.4 Etapas do Trabalho

Este trabalho foi organizado de forma a primeiramente fornecer uma base através do referencial teórico do comportamento da ionosfera, que é o meio de interação da onda celeste e das peculiaridades da transmissão em HF. A partir disto, foi pautado o conceito de Guerra Eletrônica na Marinha do Brasil e dentro dele o conceito da Inteligência de Imagens para finalmente oferecer a proposta de codificação de imagens através de ferramentas presentes no software MATLAB. O sucesso destas etapas permitirá a ocorrência de comunicação enviando

somente uma imagem criptografada, com o intuito de proteger o seu tráfego, sendo a mesma decriptada somente na recepção autorizada, com a recuperação da imagem tratada, muito próximo da imagem plana original.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho será estruturado em 3 tópicos com o intuito de pautar os conhecimentos de forma continuada sobre a composição da ionosfera bem como algumas de suas características naturais e a sua interação com as transmissões eletromagnéticas. Contaremos também com a descrição de funcionamento dos sistemas de transmissões em HF e alguns de seus parâmetros e finalmente um breve apanhado sobre as considerações das doutrinas vigentes na Marinha do Brasil, de forma a situar o leitor sobre os preceitos que devemos buscar. Assim sendo, a leitura dessa seção fornece o embasamento teórico necessário para o entendimento de comunicações em HF e os conceitos a ele afiliados, bem como as características naturais e humanas a ele envolvidos. Como produto desta seção, teremos bagagem para abordar a utilização da comunicação na faixa de alta frequência para transmissão de imagens.

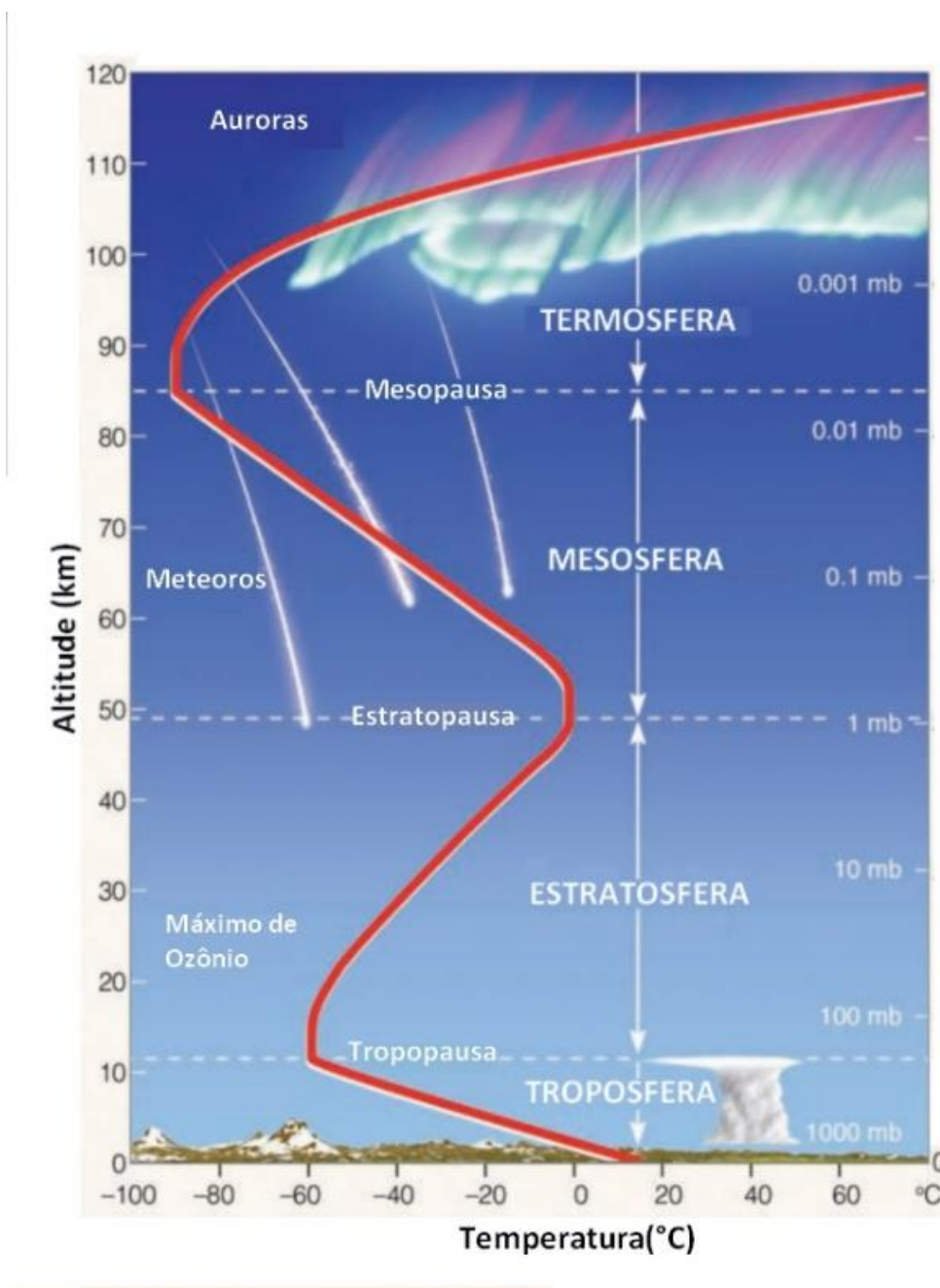
2.1 Ionosfera

A atmosfera terrestre é uma envoltória de gases aprisionados pela atração da força gravitacional que circundam o planeta Terra e sua extensão é dividida em camadas. Segundo dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE), estas camadas podem ser correspondentes aos níveis de temperatura e comportamento de seu gradiente ou a sua quantidade de íons e condutividade.

No caso de correspondência aos níveis de temperatura e comportamento do seu gradiente, do qual pode haver variação entre positivo e negativo, a divisão é feita em troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera e conforme ilustrado na Figura 2.1. A troposfera, que vai desde a superfície terrestre até 15km aproximadamente, apresenta decaimento de temperatura com o aumento de altitude. Em seguida, a estratosfera que se delimita aproximadamente de 15 a 50 km de altitude. Nesta camada, a temperatura aumenta com a altura, segundo Silva (2018) esse aumento reside basicamente na presença da camada de ozônio que atua como fonte interna de calor. Em seguida, temos a mesosfera com altitude virtual pairando entre 50 e 85 km de altitude e nela não percebemos o evento de inversão térmica, ou seja, a temperatura decai com o aumento da altitude. Por último, se apresenta a termosfera, cuja altitude virtual está entre 85 e 600 km aproximadamente e seu gradiente de temperatura aumenta com o aumento de altitude.

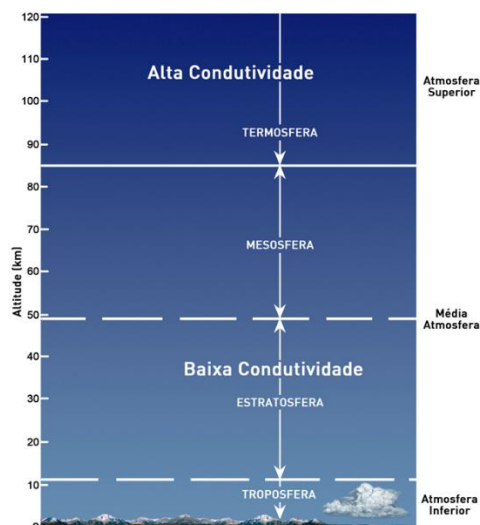
Por outro lado, a correspondência relativa à quantidade de íons e condutividade, divide a atmosfera terrestre em inferior, média e superior. A atmosfera inferior possui baixa condutividade e compreende a região física da troposfera. Já a atmosfera média possui média condutividade e compreende as camadas estratosfera e mesosfera. Finalmente a atmosfera superior que possui alta condutividade e se localiza a partir da termosfera. Essa correspondência é ilustrada na Figura 2.2.

Figura 2.1 - Camadas da atmosfera terrestre e sua temperatura



Fonte: Ahrens (2009).

Figura 2.2 - Camadas da atmosfera terrestre e sua condutividade.



Fonte: INPE (2020).

A região da atmosfera terrestre que possui alta condutividade e que começa na parte final da mesosfera e se prolonga por toda a termosfera é conhecida como ionosfera. Essa região receberá maior atenção neste trabalho, pois influencia diretamente a comunicação na faixa de frequência HF. Portanto, é de extrema importância para a comunicação na faixa de HF o estudo das características e comportamentos da ionosfera.

A influência da ionosfera na comunicação HF ocorre devido a sua composição, pois a mesma é composta por íons livres em quantidades suficientes para afetar o modo de propagação das ondas eletromagnéticas (AGARD, 1990). Os íons são espécies químicas eletricamente carregadas, em geral um átomo que ganhou ou perdeu elétrons em sua eletrosfera, conforme aponta Lima (2011, p.115). No entanto, a quantidade de elétrons presentes na ionosfera pode sofrer variações de acordo com uma série de fatores, dentre eles: a área geográfica analisada, a hora do dia associada à radiação solar incidente e a própria composição da atmosfera local, que segundo Paiva (2004) contribui primordialmente para a formação da ionosfera através da ionização de seus gases neutros como oxigênio, nitrogênio e outros. Esta composição atmosférica tem seu estudo aprofundado quando se trata das propagações de ondas em frequências na faixa HF, pois nessa faixa de frequências, ocorre o fenômeno de refração, que permite o retorno do sinal transmitido ao solo. Este estudo pode ser particularmente melhorado com a utilização de sondadores ionosféricos, que medirão a altura virtual na qual a ionosfera se encontra, bem como sua densidade de cargas elétricas no plasma ionosférico pertinente à altura.

2.1.1 Camadas Ionosféricas

Em adição às descrições supracitadas no item 2.1, a literatura científica também divide a ionosfera em camadas, que se diferenciam a despeito de sua densidade volumétrica de elétrons livres, de caráter heterogêneo. As variantes contribuintes a este perfil dinâmico são diversas como estação do ano, diferenças geográficas de latitude e longitude e o ciclo solar, aponta Silva (2018).

A radiação solar contém energia em forma de fótons, que ao serem combinados com os gases neutros presentes na atmosfera os fazem liberar elétrons formando íons. Os modelos de camadas ionosféricas consideram sua composição química e incidência de radiação solar. Estas camadas ionosféricas dividem-se D, E, e F. A camada D possui altura virtual entre 60 e 90 km, a camada E com altura virtual entre 90 e 120 km e a camada F que vai de 120 a 1000 km. Esta última camada se destaca das demais em proveniência de sua estratificação interna, que resulta em camadas subjacentes conhecidas como F1, F2 e F3. Segundo Witvliet (2015), as camadas E e F atuam na reflexão do sinal, enquanto a camada D causa atenuação inversamente proporcional à frequência do sinal emitido.

A camada D é ionizada pelos raios-X durante o dia, nela são frequentes as colisões eletrônicas e estas colisões causam atenuações nas transmissões por ondas ionosféricas em comprimentos específicos. Outra característica desta camada é que à noite, com ausência de radiação solar, ela desaparece. A diminuição ou desaparecimento da camada D são menores influenciadores das atenuações, devido ao seu baixo conteúdo eletrônico total quando relativamente comparado às outras camadas.

A camada E é formada pela ionização de N_2 , O_2 através dos raios-X. Também é dependente direta da atividade solar, tendo sua concentração bastante diminuída no período noturno, mas não desaparecendo.

A camada F se estratifica durante o dia e se agrupa novamente à noite, o que causa uma variação em sua composição de subcamadas. A subcamada F1, que existe somente no período diurno, é formada pela ionização do oxigênio atômico através dos raios de extremo ultravioleta (EUV). A subcamada F2 é composta majoritariamente por elétrons livres e O^+ , é presente durante o dia e durante a noite devido aos seus efeitos intrínsecos de difusão que misturam a composição das substâncias presentes, mudando apenas sua concentração de elétrons livres. A concentração é maior no período diurno devido à alimentação pela energia solar em forma de fótons. A subcamada F3 possui ocorrência típica nos solstícios de dezembro e de junho, com aparecimento na altitude virtual de 650km e próxima do Equador Magnético. Segundo Batista

(1999) sua densidade é ocasionalmente maior que a camada F2, porém sua presença na ionosfera é inconstante.

2.1.2 Conteúdo Eletrônico Total

A concentração eletrônica influencia as propagações de ondas de rádio. Assim, uma rápida variação de sua concentração pode espalhar e atenuar estas ondas. Este espalhamento pode fazer cintilar a amplitude e a fase dos sinais que atravessam a ionosfera e retornam ao solo. Esta instabilidade ocorre principalmente na ionosfera equatorial, que se estende desde o Equador até as latitudes de aproximadamente 20° para ambos os hemisférios. Vale ressaltar que a porção sul da ionosfera equatorial compreende geograficamente uma parte significativa da costa brasileira, nosso ambiente geográfico de estudo e onde há um grande tráfego de embarcações que se utilizam de ondas de rádio para comunicação, além das estações terrenas que participam dos enlaces terra-bordo.

Os sinais transionosféricos podem sofrer refração ou reflexão de acordo com a sua interação com a concentração eletrônica do meio em que se propaga. O conteúdo total eletrônico (TEC) é referenciado a partir da direção vertical no ponto de penetração do sinal na ionosfera. O conteúdo eletrônico total se apresenta como parâmetro de estudo sobre as perturbações na ionosfera e sua interação com a propagação de sinais. Sua medida consiste no número total de elétrons contidos em uma coluna com seção transversal de área unitária, a unidade utilizada é TECU (TEC unit) e um TECU corresponde a 10^{16} *elétrons/m²*. A maior variação do TEC pode ser observada junto ao terminadouro, que segundo consta em glossários de termos científicos é o círculo máximo que separa o hemisfério iluminado do hemisfério escuro, ou seja, o limiar que separa o dia e a noite na superfície terrestre.

Os dados obtidos com a medida TEC podem ser apresentados na forma VTEC (vertical TEC), que engloba o TEC de raios paralelos ao zênite local da posição do receptor. Outra forma de apresentação é o modelo slant TEC (STEC) que similarmente ao VTEC capta os raios, porém somente os inclinados em relação ao receptor. Um resumo do entendimento destes dois métodos seria quantos elétrons são “percorridos” tanto nas transmissões paralelas quanto nas oblíquas.

2.1.3 Instrumentos de Medição Ionosférica

De acordo com dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE), as ionossondas, digissondas e seus respectivos funcionamentos são definidos da seguinte forma:

Ionossonda é o nome genérico dado a sondadores ionosféricos que utilizam técnicas básicas de radar para detectar a densidade eletrônica do plasma ionosférico em função da altura. O equipamento emite pulsos de energia eletromagnética fazendo uma varredura em frequência entre 1 e 30 MHz (podendo atingir até 40 MHz), em passos de 50 ou 100 kHz. Através da medida do tempo decorrido entre o sinal emitido e o sinal refletido, uma ionossonda com transmissão vertical fornece um perfil de densidade eletrônica em função de altura (virtual). As ionossondas digitais possuem também capacidade de medir a fase do sinal e o seu deslocamento Doppler, possibilitando, dessa forma, a obtenção de informação sobre a dinâmica da região ionosférica refletora. As Digissondas são ionossondas digitais com alta capacidade de processamento dos dados logo após a sua obtenção, o que possibilita o seu uso em programas que necessitem das informações ionosféricas em tempo real, tais como a previsão do Clima Espacial.

Como componentes integrantes do sistema de uma Digissonda, temos o transmissor, o receptor, um chaveador de antenas, computadores internos, periféricos e antenas transmissoras e receptoras. O conjunto de periféricos é ilustrado pela Figura 2.3 e o modelo de antena transmissora é ilustrado pela Figura 2.4.

O sinal eletromagnético é transmitido para a ionosfera o mais verticalmente possível, com potência de pico da ordem de 10 kW (para a Digissonda DGS256 utilizada em Boa Vista) e da ordem de até 300 W (para os modelos internacionais), através de uma antena transmissora tipo Delta, com cargas resistivas que possuem derivação central. O sinal refletido é recebido por um conjunto de antenas receptoras que permitem realizar uma modelagem.

Figura 2.3 - Console de uma Ionossonda



Fonte: INPE (2020b).

Figura 2.4 - Modelo de antena Ionossonda



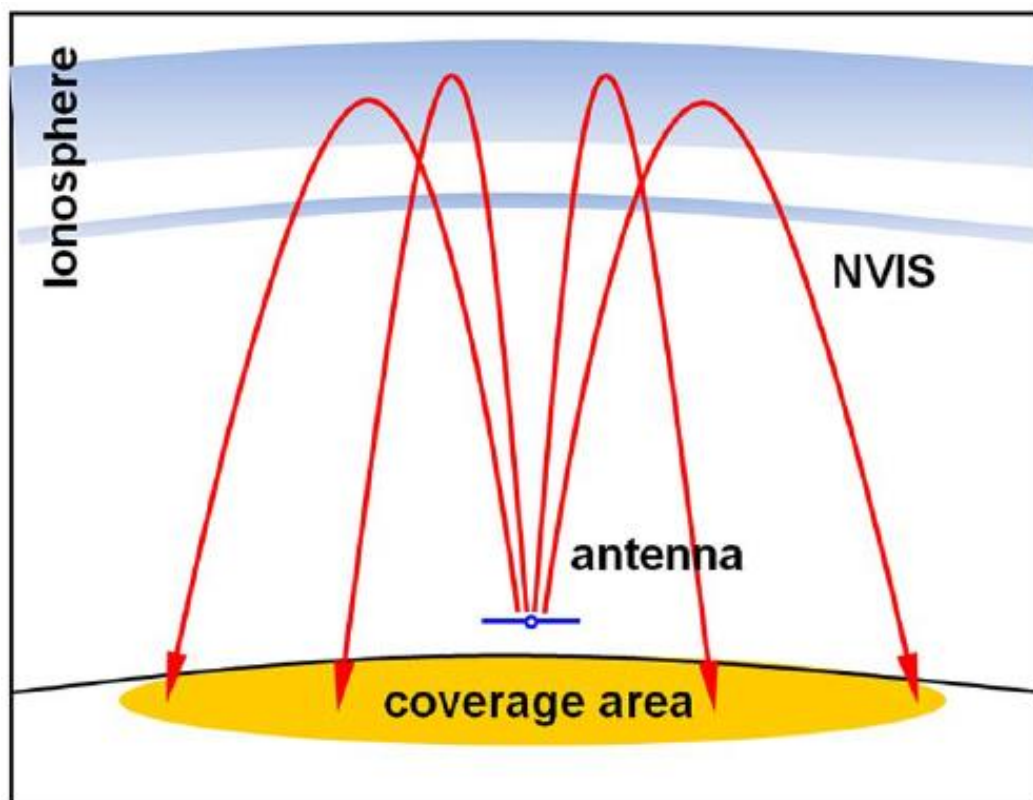
Fonte: INPE (2020b).

2.1.4 Propagação NVIS

O modelo de propagação Near Vertical Incident Skywave (NVIS) utiliza a ionosfera como refletor em um range espectral de aproximadamente 3 a 10 MHz (a faixa de HF compreende de 3 a 30 MHz) e seus modelos de teste adotam ângulos de lançamento do sinal superiores a 70 graus de elevação. Apesar de não apresentar oferta competitiva para as comunicações cotidianas, apresenta uma boa performance sob o ponto de vista dos sistemas de comunicação reserva contra emergências e das operações militares, além de poder contar com equipamentos de baixo custo Witvliet (2015).

O propósito de transmitir ondas eletromagnéticas em ângulos elevados (próximos da vertical) é o atendimento da cobertura nas áreas adjacentes ao equipamento transmissor. Na ionosfera, as ondas refletem e retornam ao solo fazendo uma trajetória similar a um guarda-chuva, conforme ilustrado pela Figura 2.5, com afastamento radial em relação ao ponto geográfico de transmissão. Alguns efeitos sofridos pelo sinal na ionosfera como atenuações por inconstâncias atmosféricas, dispersões, desvanecimento causado por interferência de outras ondas viajando por diferentes caminhos e ruídos acabam demandando características específicas para desempenhar a comunicação por dados. Estas requisições são tratadas por técnicas de modulação e protocolos *Automatic Repeat Request* (ARQ) que basicamente consistem em um pedido de retransmissão em caso de falha, o que dá mais confiabilidade em uma transmissão.

Figura 2.5 - Cobertura da propagação NVIS



Fonte: Witvliet (2015).

2.1.5 Frequência Crítica

A maior frequência na qual uma onda eletromagnética alcança a ionosfera e é por ela refletida, conhecemos por “frequência de plasma” ou mais popularmente como “frequência crítica”, representada na literatura como f_0 . A análise desta frequência crítica auxilia a obtenção de uma previsão de comportamento da onda transmitida. Se a frequência for abaixo do limiar, o sinal será desvanecido pelas atenuações da camada D. Em contrapartida, se a frequência for muito alta, o sinal atravessará a camada F se estendendo ao espaço e não sendo refletido.

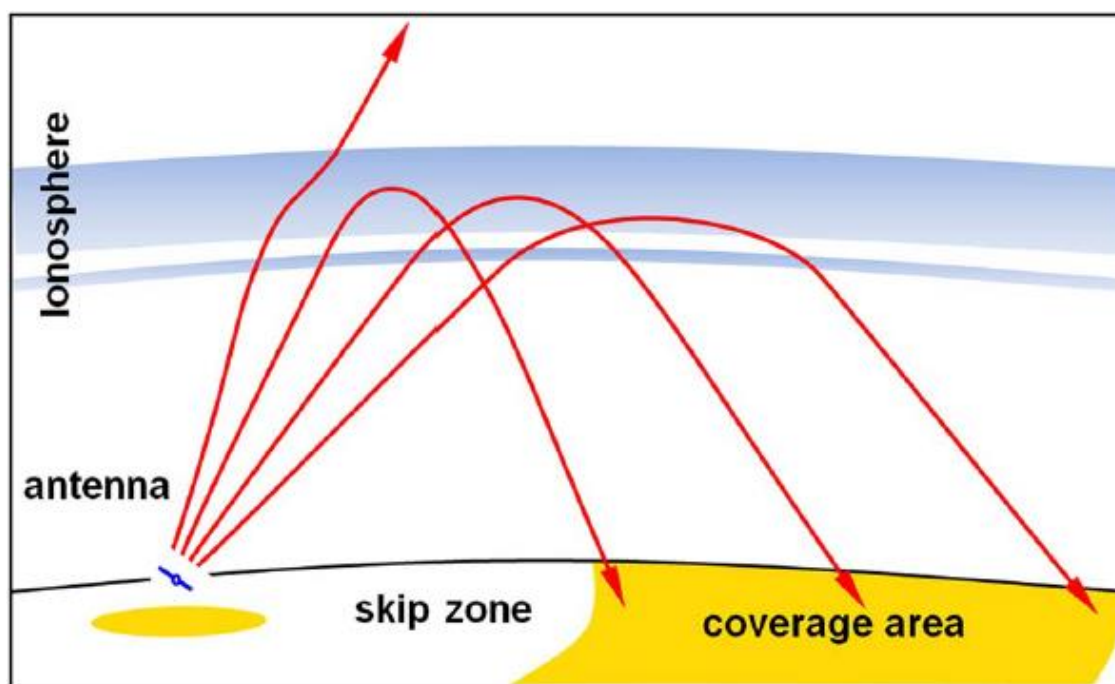
Uma relação matemática conhecida como “Lei Secante” criada por Martyn em 1932, associa a dualidade entre o ângulo de elevação do sinal e a frequência crítica a ele associada e é expressa pela Equação 2.1:

$$MUF = f_v \sec \theta$$

Equação 2.1

Onde MUF é a máxima frequência utilizável, θ é o ângulo de incidência e f_v é a frequência vertical equivalente. Esta relação de escaneamento de frequências utilizáveis permite a consciência a respeito dos valores recomendados para reflexões bem-sucedidas. Entretanto, nem sempre a ocorrência de reflexão resultará de fato na consumação da comunicação, pois a onda refletida possui grande alcance e pode incidir muito distante geograficamente do ponto de lançamento. Este distanciamento gera uma zona de silêncio, que consiste em uma área sem cobertura do sinal transmitido, conforme ilustrado pela Figura 2.6. Este é o problema que a propagação NVIS busca mitigar, garantindo uma cobertura nas áreas adjacentes ao transmissor e atendendo ao requisito de utilizar frequências abaixo da frequência crítica.

Figura 2.6 - Zona de silêncio em NVIS



Fonte: Witvliet (2015)

2.2 Transmissões em HF

As comunicações em HF atendem a cobertura de frequências entre 3 e 30 MHz, isto significa que através da análise do comprimento de onda cujo seu produto com a frequência é igual a velocidade da luz, a faixa compreende comprimentos de onda entre 10 e 100 metros. Segundo (Wang; Ding; Wang, 2018), o desafio desta modalidade de comunicação busca vencer obstruções como transmissão *Over The Horizon* (OTH) ou até mesmo global, ultrapassando os

milhares de quilômetros através da propagação das ondas celestes que sofrem as refrações ionosféricas, também conhecidas como ondas ionosféricas.

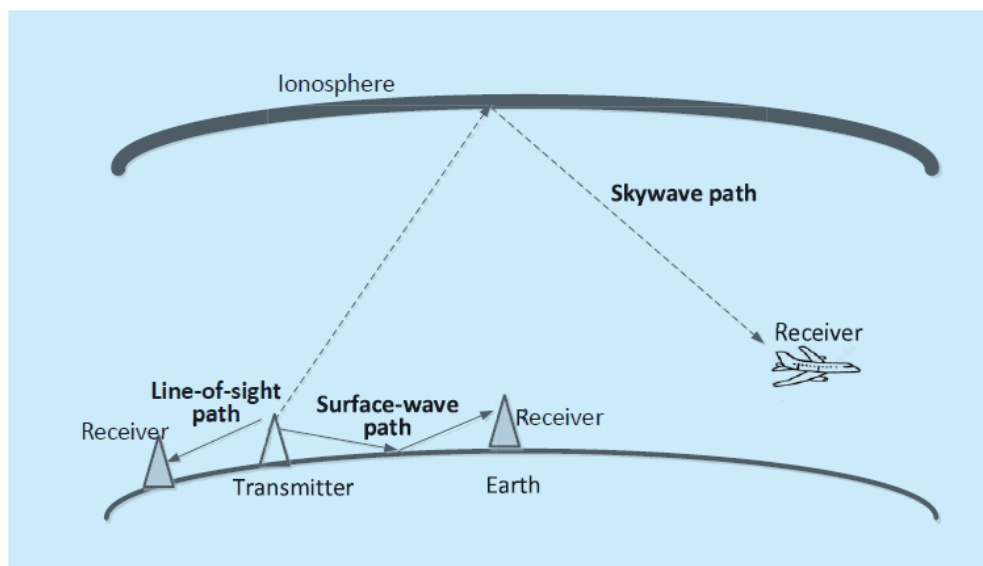
Este sistema possui uma bagagem histórica de usos em operações militares, comunicações de emergência, principalmente em áreas com ocorrência de desastres, e controles aéreo e marítimo. Sendo assim, em princípio mostra-se interessante por sua versatilidade de atendimento e ampla capacidade de cobertura.

Em contrapartida aos sistemas de comunicação satelitais que possuem um enlace complexo de se estabelecer e genuinamente caro desde a sua concepção até seu uso e manutenção, as comunicações em HF por ondas ionosféricas mostram-se uma solução de custo mais acessível ao oferecer uma maior simplicidade no estabelecimento de seu enlace e com ampla cobertura. Outro fator determinante que pesa em favor das comunicações em HF é o fato de que utilizam um recurso natural que é a propagação eletromagnética, sem necessariamente utilizar um serviço intermediário de codificação ou decodificação do sinal transmitido.

De acordo com (Wang; Ding; Wang, 2018) o sistema HF passa por alguns desafios críticos para que siga se desenvolvendo e se mostrando como opção competitiva de serviço, dentre eles estão o requerimento de maiores taxas de transmissão tanto por parte dos usuários quanto por parte das aplicações, um estabelecimento de enlace com baixa latência e tratamentos de modulação com resistência à ataques de interferência ou *jamming*. Segundo Adamy (2001), o *jamming* consiste em qualquer tentativa bem-sucedida de interferir no uso efetivo do espectro eletromagnético, os ataques podem ser realizados de diversas formas, mas não faremos abordagem sobre eles no presente trabalho.

Um sinal HF transmitido por ondas possui três principais tipos de propagação, são elas a propagação por ondas de superfície, por linha de visada e por ondas celestes, conforme ilustrado pela Figura 2.7. Segundo (Wang; Ding; Wang, 2018), o segredo para atingir o potencial das comunicações em alta frequência é entender e explorar a física envolvida em cada um dos métodos para otimizar o sinal entregue após a provisão dos efeitos que cada propagação sofre. Na propagação por ondas de superfície, o sinal transmitido viaja pela superfície terrestre sofrendo absorções e reflexões que resultam em um sinal entregue com atenuações e atrasos, porém sem distorção em relação ao original. (Wang; Ding; Wang, 2018) afirma que a grande utilidade da propagação por superfície se dá em um alcance de centenas de milhas em ambiente marítimo.

Figura 2.7 - Propagação de ondas em HF



Fonte: Wang et al (2018).

Para melhorar a probabilidade de sucesso na comunicação OTH ou até mesmo em alcance global, será necessário explorar a interação ionosférica com a onda eletromagnética, que dependendo da refração e reflexão causadas e da distância entre as estações transmissora e receptora, pode utilizar caminhos com múltiplos saltos.

O tratamento para a análise deste sinal consiste em uma superposição de fatores. Fatores de longo prazo como as variações horárias das camadas ionosféricas e as variações do ciclo solar ao longo de 11 anos que podem ser medidos por programas e aplicativos específicos como, por exemplo, o *Voice of America Coverage Analysis Program (VOACAP²)*. Outro fator componente desta análise é a presença de instabilidades de escala intermediária como os desvanecimentos que duram na ordem de segundos e são normatizados logaritmicamente (Wang; Ding; Wang, 2018). Finalmente, são avaliados os efeitos de curto prazo como espalhamento do sinal em modelos que dependerão do componente de visada direta do sinal e dos componentes dos lóbulos laterais, que são as transmissões residuais que apontam em uma direção defasada ao apontamento da antena transmissora.

2.2.1 Breve Histórico das comunicações em HF

Em meados da penúltima década do século 19, pesquisadores iniciaram o uso da onda eletromagnética para estabelecer comunicações em longas distâncias, porém inicialmente com

² VOACAP é um *software* gratuito de previsão de propagações em HF (Perkiömäki, 2020).

o conhecimento possuído, era necessária uma potência de transmissão na ordem de centenas de kilowatts. Posteriormente, o uso da transmissão HF tornou-se interessante aos olhos dos pesquisadores da época por seu potencial de transmissão, também a longas distâncias, utilizando baixa potência e antenas de menor tamanho. Desde a percepção da importância do uso da faixa HF, dividiu-se o esforço de pesquisas em gerações. A divisão de gerações se pauta basicamente na perspectiva de evolução técnica, de forma que ao passar de uma geração para outra houvesse uma real mudança sobre o entendimento e utilização deste recurso. Atualmente existem quatro denominações de gerações de estudo, sendo a quarta geração a corrente.

Na primeira geração das comunicações a transmissão de sinais era baseada em transmissores com centelhas inspirados pelos experimentos de Hertz, estes transmissores faziam descarga da energia armazenada através da centelha. Este método de transmissão, porém gerava ruídos espúrios, ou seja, as “máscaras” de uso de frequências não eram tão bem modeladas e desta forma uma transmissão geograficamente próxima concorreria ao mesmo espaço espectral de outra transmissão semelhante. Isto se tornou inviável a partir do momento em que houve grande crescimento numérico do uso deste modelo de rádio, pois havia muita interferência entre equipamentos. Vislumbrou-se então a necessidade de utilizar uma faixa de banda estreita, de forma a permitir uma separação espectral quando em transmissões geograficamente próximas. Foi então que o estudo e aplicação dos osciladores de onda contínua que permitiam que portadoras de onda estáveis e de banda estreita fossem utilizadas, adequando aos parâmetros utilizados para transmissão de voz. Segundo Hong (2001), esta adequação foi um dos fatores motivadores a moldar a largura de banda em canais de 3 KHz.

Posteriormente, o tratamento de ondas na transmissão HF passou a receber diferentes modulações que substituíram o uso da onda contínua, dentre elas o *Phase Shift Keying* (PSK), *Frequency Shift Keying* (FSK) e o *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), que ofereceram melhoras em termos de performance.

Com o início da segunda geração, as comunicações em HF destacaram-se em relação às comunicações satelitais, conforme abordado no subtópico 2.2 deste trabalho, pois sua robustez contra ataques e ameaças militares é superior aos satélites. Seu meio de propagação é pelas camadas ionosféricas as quais entendemos serem indestrutíveis, a modelagem do sinal possui maior resistência contra os ataques de interferência, ademais possui vantagem em termos financeiros pelo fato de sua infraestrutura composta de cabos e antenas apresentar custos mais baixos quando comparados aos enlaces satelitais. Outro destaque desta geração foi o avanço nos estudos referentes à conversão do sinal analógico para o digital e a melhora das técnicas para tratamento dos sinais digitais, segundo Hong (2001).

Para (Wang; Ding; Wang, 2018), a automação teve uma participação chave na segunda geração. A implantação de microprocessadores permitiu aumentar a capacidade computacional dos sistemas de transmissão e, aliado a isto, executar uma varredura automatizada de frequências utilizáveis. Este processo passou a ser conhecido como *Automatic Link Establishment* (ALE). Em princípio, houve diversos fabricantes de processadores que executavam a técnica ALE, no entanto a problemática era que eles não possuíam interoperabilidade. Alguns anos depois, por solicitação do governo estadunidense, criou-se um modelo padronizado que brevemente foi adaptado e adotado também pelo *U.S Department of Defense*. Após a padronização que permitiu a interoperabilidade, a técnica passou a ser conhecida como ALE de segunda geração.

O uso da técnica ALE obteve um grande crescimento na década de 90 em termos de usuários. Isto trouxe preocupações acerca do recurso limitado atinente à disponibilidade de frequências HF do espectro eletromagnético. Além disso, segundo Johnson et al (2013), a técnica ALE possuía pontos fracos observados conforme seu uso. O modo de operação assíncrono do sistema requeria um escaneamento longo de chamadas (que durava em torno de dez segundos). Ademais a seleção automática de frequência requeria que cada terminal contatado emitisse sons em todos os canais de frequências gerando sobrecarga. Pelo fato de ter sido originalmente projetado para transmissão de voz, possuía baixa capacidade para efetuar transmissão de dados e esta capacidade não obteve melhoras com as mudanças de processamento implementadas com este propósito.

A terceira geração buscou corrigir o que foi notado como deficiente na segunda geração. A proposta era efetuar conexões com baixo atraso e estabelecimento em relação aos dez segundos médios que se tinha e obter uma melhor relação sinal-ruído com o intuito de comportar maior vazão de tráfego e interligar maiores redes. Segundo (Wang; Ding; Wang, 2018), as metas a serem atingidas pela terceira geração eram reduzir a relação sinal-ruído necessária para alcançar uma conexão em $10dB$ ou seja, dez vezes maior, atingir o aumento de estações comportadas em uma rede em pelo menos dez vezes e aumentar a vazão de tráfego de dados com o uso do espectro também em pelo menos dez vezes. Estes valores são afins com os estudos de processamentos de sinais que permitiam o aumento da eficiência espectral.

A terceira geração ofereceu um funcionamento síncrono, que reduz o tempo de estabelecimento de conexão, além disso os canais passaram a ser utilizados de forma a estabelecer enlaces dedicados. Adicionalmente, as pesquisas sobre protocolos para evitar colisões de pacotes de dados beneficiam esta geração por proporcionar redução na taxa de falha nas tentativas de chamadas.

Ainda na terceira geração, foi implementado um protocolo padrão que melhorou as funções para análise de qualidade do enlace e introduziu distinções de operação seletiva entre enlaces com alta ou baixa taxa de transferência de dados. Sendo assim, esta geração conseguiu uma melhoria de eficiência no tráfego de dados e um controle customizável da qualidade dos serviços prestados.

A atual geração, assim tratada pelas literaturas científicas, por entender como consolidados os conceitos característicos de avanço da terceira geração, passou a focar esforços de pesquisa e desenvolvimento em “conexões inteligentes” e no uso de faixa com banda larga. Os avanços em pesquisas sobre inteligência artificial e as comunicações *machine-to-machine* (M2M³) permitem ampliar perspectivas sobre a modelagem dos sistemas de comunicação (WANG; DING; WANG, 2018). Um exemplo disto é o estudo realizado acerca dos sistemas de rádio cognitivo, que basicamente consiste em utilizar um código de programação adaptável que o permite “aprender” sobre características dos parâmetros de forma a alterar a tomada de decisão por parte do *software*. Ademais, por parte de nós usuários, há uma ambição cada vez maior de transmitir dados que requerem uma vazão de rede, também conhecida como *throughput*, mais robusta. Como exemplo disto podemos citar imagens e vídeos. Como resultado, foram lançados padrões que aumentaram a largura de canais suportados para 24kHz ao invés de manter apenas os antigos moldes de 3kHz e isto influencia diretamente no aumento de sua vazão.

2.3 Noções Sobre Guerra Eletrônica

Os sistemas de armas e C² pertinentes à atividade militar possuem, quase em sua totalidade, dependência de equipamentos eletrônicos tanto para seu desenvolvimento quanto para a execução de suas principais funções, isto contribui para que a configuração dos meios militares passe a ser cada vez mais eletrônica e digital e menos manual e analógica.

A irradiação de ondas eletromagnéticas é intrínseca à operação destes sistemas, seja essa irradiação voluntária ou não. A emissão eletromagnética ocorre em meio interno e controlado quando consideramos a limitação física oferecida pelas estruturas do ambiente de emissão, seja um submarino, aeronave ou embarcação. Entretanto, quando há a necessidade da transmissão do sinal ao meio externo, a onda irradiada possuirá como vetor o meio livre da atmosfera. Ao

³ M2M é a comunicação direta entre dispositivos através de comunicação com fio ou *wireless*.

sair do ambiente outrora tido como confinado, o sinal agora está exposto às interceptações ou interferências, que diretamente comprometem aos preceitos de confidencialidade e integridade dos sinais e informações que se quer compartilhar.

Segundo Brasil (2003), a boa execução de GE consiste na busca deliberada pela exploração destes campos eletromagnéticos interferentes, em proveito da obtenção da maior eficiência possível em combate. Sendo assim, é necessária a consciência sobre a necessidade de conhecer as emissões inimigas, bem como saber que há o similar interesse por parte das Forças Armadas estrangeiras. Esta consciência situacional permite a elaboração e execução de planos e ações para a manutenção da soberania nacional concernente à segurança através das ações de GE.

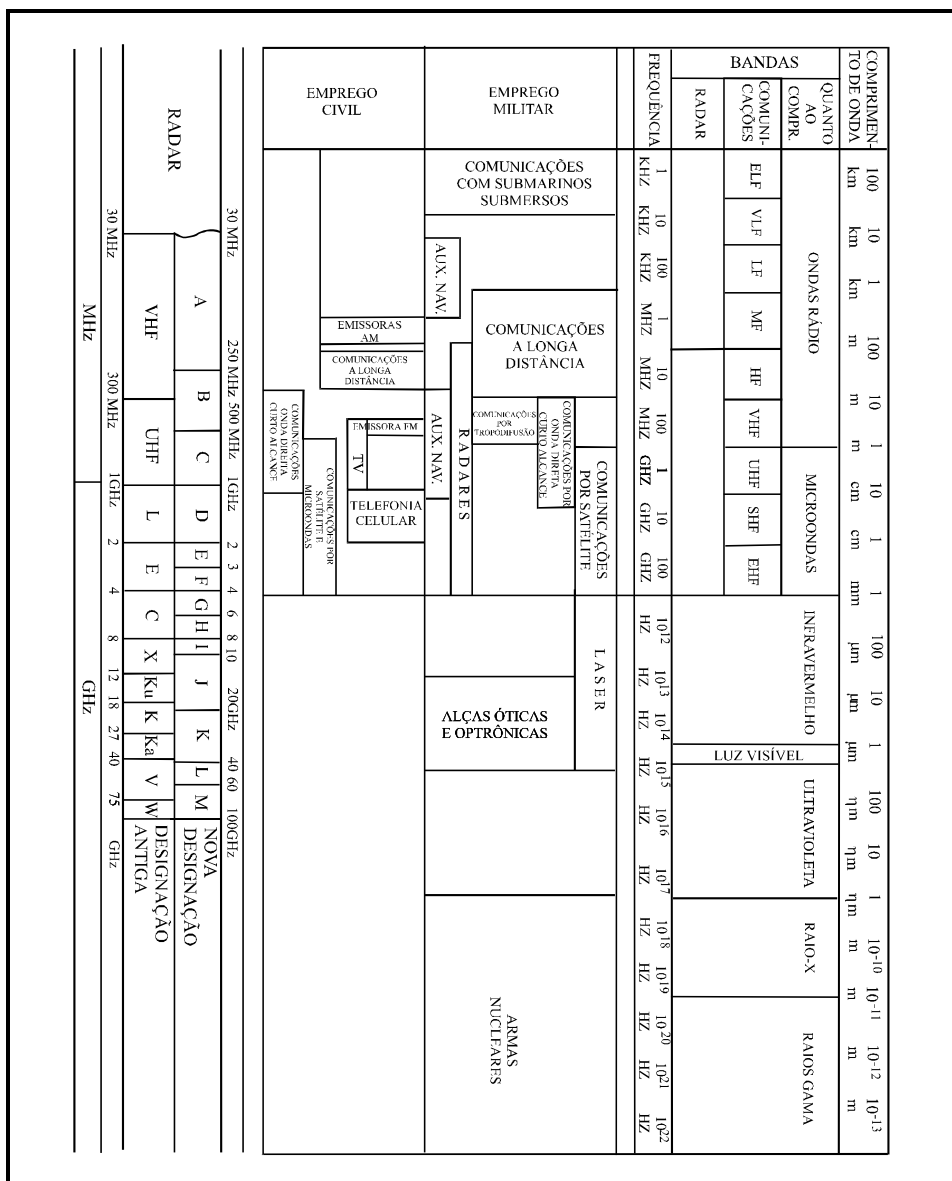
A GE possui um caráter eminentemente dinâmico, isto se deve aos constantes esforços científicos que permitem a evolução tecnológica através de avanços nos métodos como, por exemplo, os de operação, codificação dos sinais e como moldar os parâmetros de onda de forma a dificultar sua interceptação. Isto significa que cada técnica inovadora “exige” uma nova contramedida, de forma a permitir a existência de um contrabalanceamento. Em contrapartida, a contramedida sinaliza a necessidade de novos métodos que as possam burlar. Assim, a dualidade das técnicas desenvolvidas e suas respectivas contramedidas desenvolvem um efeito em cadeia resultante da busca constante de superação das táticas inimigas.

Posto este cenário é necessário o constante aprimoramento através da dedicação nas áreas de pesquisa e desenvolvimento, bem como o estreito acompanhamento acerca das evoluções alcançadas por Forças amigas e das evoluções militares em termos gerais, pertencentes ao ramo da tecnologia das comunicações. Desta forma, a GE precisa de uma mobilização permanente, atuando principalmente em tempos de paz, de forma a permitir a consolidação de uma boa base de banco de dados, de forma a mitigar a ocorrência de surpresas táticas e estratégicas, que possuem papéis de destaque e preponderante sucesso no meio militar.

2.3.1 Campo de Atuação da Guerra Eletrônica

A GE atua fundamentalmente sobre todo o espectro eletromagnético, assim sendo abrange desde as faixas visíveis a olho nu até as zonas infravermelha e ultravioleta, para distintas atividades apropriadas ao comprimento de onda, conforme ilustrado pela Figura 2.8. Na ausência de confrontos reais, o meio majoritário de coleta de dados é a atividade de Inteligência, mesmo que porventura não haja uma boa precisão acerca destes dados é uma ferramenta que permite ao menos inferir sobre a capacidade alheia bem como suas limitações.

Figura 2.8 Panorama de Atuação na GE



Fonte: Manual de Guerra Eletrônica (2003).

Sob este prisma de constância de atividades a serem empreendidas, a GE exercida deverá buscar alguns parâmetros básicos de forma a manter um controle de qualidade sobre o trabalho realizado. O primeiro destes parâmetros é a atualização das informações coletadas, de forma a obter estimativas atualizadas e o mais realistas possível sobre o poderio inimigo. Os demais parâmetros consistem em treinamento de pessoal voltado para a operação dos equipamentos, contramedidas empregadas contra investidas inimigas e otimização do uso de sistemas próprios.

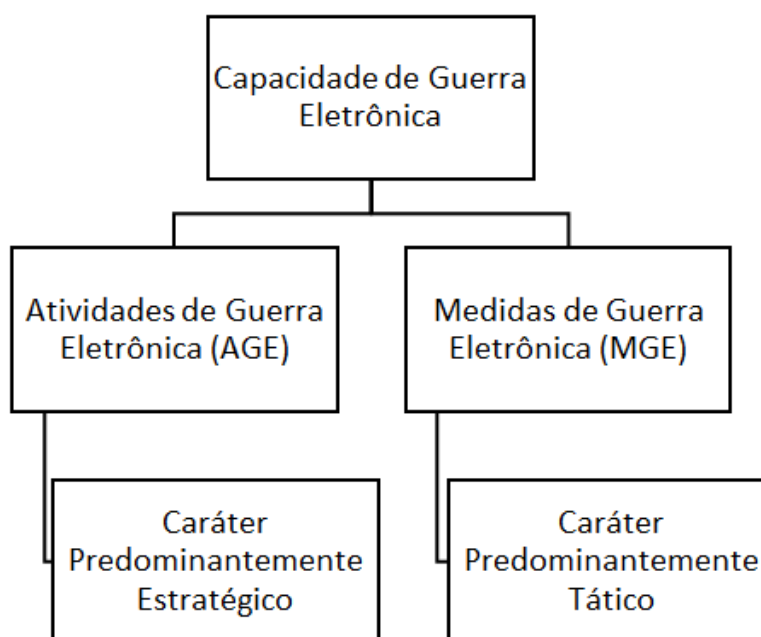
Uma boa estruturação desta atividade diuturna permitirá a construção de um sólido autoconhecimento a respeito da Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE) e obediência aos preceitos militares, obedecendo a Estratégia Nacional de Defesa (END) e por consequência, atendendo à definição de GE pela Doutrina Básica da Marinha, que diz o seguinte:

“A Guerra Eletrônica é a parte do emprego militar da eletrônica que diz respeito às ações que envolvem o uso de energia eletromagnética para determinar, explorar, impedir, reduzir ou prevenir o uso efetivo pelo inimigo do espectro eletromagnético, e para assegurar o uso deste espectro pelas próprias forças.”

2.3.2 Capacidade de Guerra Eletrônica

A CGE é entendida como o somatório de meios e recursos de quaisquer ordens que permitam o auxílio ao Poder Naval no empreendimento eficaz das ações de GE. É dividida em dois conceitos, são eles Atividades de Guerra Eletrônica (AGE) e Medidas de Guerra Eletrônica (MGE) conforme ilustrado pela Figura 2.9. As AGE, constituem-se de todo esforço estratégico, tático, logístico ou de pesquisa e desenvolvimento os quais possam estar atrelados ao aprimoramento da GE como um todo, através de exploração, verificação dos seus parâmetros e sua reformulação caso necessário. Já as MGE, caracterizam todo o esforço aplicado diretamente ao apoio de uma operação militar, sendo o emprego da CGE.

Figura 2.9 Organização da CGE 1



Fonte: o autor.

2.3.3 Atividades de Guerra Eletrônica

As AGE dividem-se em Reconhecimento Eletrônico (RETRON) e em Aprestamento Eletrônico (APEL). O RETRON abrange o conjunto de atividades com propósito estratégico que visam a obtenção de informações que permitam estimar a CGE de uma força inimiga. Em posse destas estimativas é possível avaliar as necessidades de reformulação e aprimoramentos de nossa própria CGE. O RETRON pode ainda possuir um caráter tático, desde que utilizado diretamente no planejamento de operações de guerra militar naval. Por outro lado, o APEL é focado na capacitação de recursos humanos e aprimoramento dos métodos logísticos de forma a proporcionar aumentos mensuráveis à CGE.

2.3.3.1 Reconhecimento Eletrônico

Brasil (2003) conceitua o RETRON da seguinte forma:

“Conceitua-se, assim, o RETRON, como o conjunto de atividades conduzidas com finalidade primordialmente estratégica ou, eventualmente, em proveito de um planejamento operativo, que visa à obtenção e ao processamento sistemático e oportuno de informações sobre a CGE de Forças Armadas de outros países, a fim de permitir o correto dimensionamento da própria capacidade, uma efetiva avaliação da sua adequabilidade e, quando cabível, a obtenção dos dados necessários à sua reformulação.”

Quando abordamos o conceito de RETRON, o reconhecimento ao qual se refere é a obtenção de um entendimento tão profundo quanto possível sobre as possibilidades do poderio inimigo. As informações obtidas serão tratadas em diferentes níveis, os quais terão correspondência acerca de quem as tratará, quais medidas deverão ser tomadas e o quão rápidas deverão ser essas medidas. Estes níveis de informação se dividem em estratégico, operacional e tático, conforme ilustrado pela Tabela 2.1.

Ao analisar o nível estratégico de informações, podemos verificar a execução de ações voltadas para o longo prazo, como o desenvolvimento de políticas, estratégias, táticas e estipular a necessidade de armas e equipamentos, permitindo um bom dimensionamento da CGE que se quer alcançar.

Tabela 2.1 - Níveis de Informação no RETRON

Nível de Informação Característica	Estratégico	Operacional	Tático
Controle	Estratégico (CM e EMA)	Comando Operacional (ComOpNav/COMTOM)	Comando de Forças Táticas e Unidades
Utilização	Desenvolvimento de Capacidade	Planejamento de Operações	Ação Tática
Intensidade de Análise	Grande	Limitada ao tempo disponível para o Planejamento	Imediata (automática)

Fonte: Manual de Guerra Eletrônica (2003).

Quando tratamos dos níveis operacional e tático da informação, é preciso atentar para características não exigidas pelo nível estratégico. Agora, necessitamos saber o estado atual dos sistemas de defesa e ataque utilizados pela força adversária. Faz-se mister uma abordagem mais profunda do que simplesmente ter conhecimento sobre os sistemas e suas capacidades, precisamos também saber onde estão situados, quais são suas atuais condições de prontidão e se há intenção ou não de movimento.

Como conteúdo do RETRON, a tarefa se subdivide em Inteligência Eletrônica (INTELT ou do inglês *ELINT*) e Inteligência de Comunicações (INTCOM ou do inglês *COMINT*), ambos estes ramos da inteligência estão hierarquicamente abaixo da Inteligência de Sinal (INTSAL ou do inglês *SIGINT*). Algumas doutrinas estrangeiras tratam adicionalmente a Inteligência de Telemetria (do inglês *TELINT*), que engloba sistemas de GPS e Inteligência de Imagens (IMINT). Na doutrina da Marinha do Brasil a IMINT faz parte da INTELT. A IMINT nos interessará especialmente neste trabalho e receberá comentários apropriados nas próximas seções.

2.3.3.2 Aprestamento Eletrônico

O APEL pode ser entendido como a reunião das atividades que proporcionam ou visam proporcionar o estabelecimento e o aprimoramento da CGE. Pelo fato de possuir um caráter de apoio à condução das atividades de GE, deverá contar com uma estrutura que permita esta realização. De acordo com a doutrina naval, o APEL é hierarquicamente responsável pelas

atividades de pesquisa e desenvolvimento, fomento industrial, manutenção e reparos, formação de pessoal e a documentação do processo.

A pesquisa e o desenvolvimento atuam como pilares na constante busca de adequabilidade da CGE, busca essa que na maior parte do tempo, por ausência de confrontos reais, conta com informações obtidas pelas atividades de inteligência com estimativas mais próximas o possível da realidade. Entretanto, a estimativa do poderio inimigo é uma variável de difícil definição, isso leva a uma tendência de superestimar as capacidades alheias, o que tende a tornar os sistemas mais sofisticados na tentativa de contrapor uma ameaça acima da real.

Um problema percebido nas atividades de pesquisa é a dificuldade em associar os saltos tecnológicos obtidos pela pesquisa em geral, não somente a militar, às possíveis aplicações e resultados esperados na execução da GE. Desta forma, os desenvolvimentos que podem ser considerados como marcos de forma generalista podem acabar não tendo seu impacto bélico bem aproveitado por falta de experiências reais ou de devidas aplicações nos sistemas de combate. Além disso, permanece constante o desafio de manter uma retro compatibilidade, de forma a permitir a comunicação das novas tecnologias, que muitas vezes se apresentarão de forma celular e específica, com as estruturas preexistentes.

O fomento industrial tem uma peculiar importância no cumprimento do APEL, pois a presença de uma infraestrutura que possa contar com a Base Industrial de Defesa (BID) ou ainda, na ausência desta, o acesso as tecnologias de forças aliadas, permite o estreito acompanhamento às atividades de produção de sistemas e equipamentos que sofisticam e otimizam o modo de trabalho no campo da GE. Seu total entendimento é abrangido não só pelo estudo da GE, mas pelo processo logístico de Defesa, que compreende uma engenharia de sistemas a qual acompanha todo o ciclo de vida dos sistemas, desde sua concepção até seu descarte. Este apoio logístico será fundamental para se obter um apurado controle de manutenção e reparo, que diretamente nos entregam resultados proporcionais às boas condições de uso dos sistemas e equipamentos.

A formação de pessoal é o conceito que aborda mais diretamente a participação humana no processo de construção de uma CGE. O homem é ator fundamental em todos os processos até aqui listados e assim sendo, precisa de um completo entendimento sobre a importância de cada etapa de trabalho, bem como o resultado que se quer alcançar. A doutrina naval preza pela construção paulatina de uma mentalidade de segurança, que abrange de forma integrada os conceitos de INTEL e INTCOM. O conseqüente desenvolvimento desta mentalidade

permitirá uma maior sensibilidade aos problemas e necessidades inerentes ao desenvolvimento e aprimoramento das AGE.

Como tarefa final do APEL, a documentação assume um papel primordial no apoio ao cumprimento das AGE. É preciso armazenar de maneira segura e ordenada, todas as informações das quais se tem posse, de forma a apoiar a criação e manutenção de doutrinas de operação e segurança e permitir uma perspectiva geral sobre tudo o que se tem e como fazer suas mudanças.

2.3.4 Medidas de Guerra Eletrônica

As MGE, diferentemente das AGE, possuem um caráter predominantemente tático e abrangem as ações de GE que ocorrem efetivamente ao longo de uma operação de guerra naval. Possuem dependência direta da qualidade na execução do APEL, em virtude de contar com tempos de reação drasticamente curtos ou mesmo inexistentes. Sendo assim, não há espaço para uma metodologia de improvisos, pelo contrário, é a aplicação direta dos resultados provenientes dos esforços oriundos da preparação de uma CGE.

As MGE são divididas em três ramos, a saber: Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE), Medidas de Ataque Eletrônico (MAE⁴) e Medidas de Proteção Eletrônica (MPE⁵) e estes ramos se diferenciam entre si de acordo com a sua interação ativa ou passiva com o espectro eletromagnético através da recepção, emissão ou modificação do sinal transmitido e recebido.

2.3.4.1 Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica

As MAGE concentram as ações voltadas à busca, interceptação, localização das fontes emissoras, registro e análise da energia eletromagnética irradiada. Este tratamento tem como objetivo uma imediata identificação de alvo ou ameaça e permite uma posterior exploração dos dados obtidos, que são armazenados em uma biblioteca de dados que permite comparação entre sinais. A missão destas medidas consiste em fornecer ao C² informações que permitam a tomada de decisão em presença de alvos ou ameaças, e esta decisão deverá ser tomada de forma automática quando a ameaça for imediata ou ficara sob encargo do operador caso a situação

⁴ Anteriormente denominadas Contramedidas Eletrônicas (CME).

⁵ Anteriormente denominadas Contra-Contramedidas Eletrônicas (CCME).

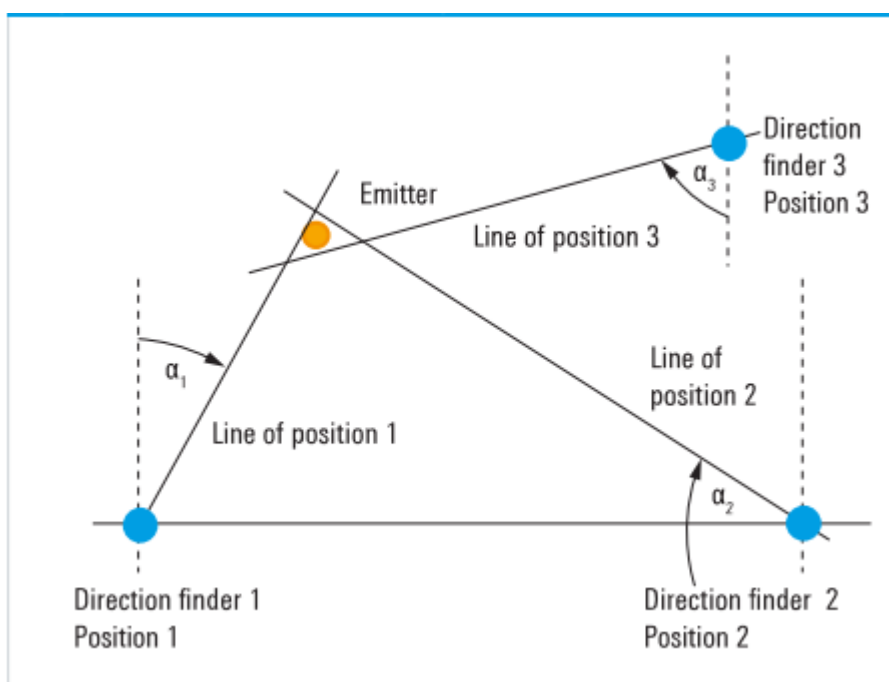
tática assim o permita. O Manual de Guerra Eletrônica da Marinha do Brasil divide as MAGE em fases de busca e interceptação, monitoragem, localização eletrônica, análise, registro e identificação.

A busca e interceptação são oriundas de uma varredura ordenada do espectro eletromagnético com finalidade de encontrar e mapear frequências de interesse, pode ser executada através de uma divisão nas faixas de frequência e desempenhada por mais de uma unidade ao mesmo tempo. Esta varredura tem um benefício dual, pois além de verificar e classificar a presença inimiga, permite a análise das emissões da própria Força.

A monitoragem consiste na sintonia intencional com determinada frequência de interesse durante um período de análise, permitindo obter alguns parâmetros inerentes à ela. Pode ser utilizada tanto na INTELTEL quanto na INTCOM, porém é um artifício mais comum na INTCOM, pois esta última é diretamente subsidiada pelo produto oferecido nesta etapa.

A localização eletrônica realiza um cruzamento de marcações obtidas por antenas que possuem o recurso de *Direction Finding* (DF), permitindo saber a direção do sinal recebido. Estas antenas podem estar equipadas tanto em meios operativos, que detectarão a possível posição do inimigo através de triangulações conforme mostra a Figura 2.10, quanto em estações radiogoniométricas que também farão a triangulação proveniente de sua distribuição geográfica.

Figura 2.10 – Triangulação da Posição Inimiga

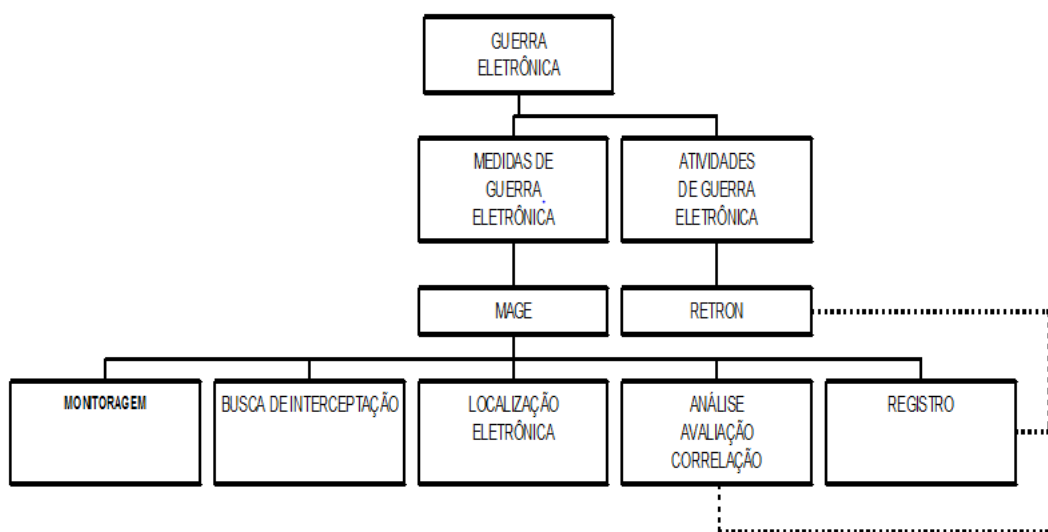


Fonte: Rohde-Schwarz (2017).

Realizar a análise dos dados está presente tanto nas AGE quanto nas MGE, sendo assim, pode atribuir valores estratégicos e táticos ao tratamento da informação recebida. Aqui, é objetivo manter o princípio da oportunidade, onde o correto aproveitamento dos dados obtidos pode influenciar a tomada de decisão de forma impactante em uma operação militar naval. Esta etapa apresenta fundamental importância no que tange a análise de mensagens e tráfego inimigo, de forma a observar padrões de ocupação do espectro e características que se repetem como por exemplo a agilidade em frequência permitindo uma maior mensurabilidade sobre as capacidades inimigas que se quer estudar e agregando valor à execução da INTEL e INTCOM.

O registro é realizado na fase de monitoragem, no caso dos dados obtidos serem classificados como dados de interesse, ampliando assim a qualidade do RETRON. Pode ser efetuado em forma de mídias físicas ou banco de dados digitais, de forma a estar sempre disponível e de forma organizada em prol a oferecer auxílio aos operadores e prover um melhor controle panorâmico das MAGE, cuja estrutura geral está representada na Figura 2.11.

Figura 2.11 – Panorama das MAGE



Fonte: Manual de Guerra Eletrônica (2003).

2.3.4.2 Medidas de Ataque Eletrônico

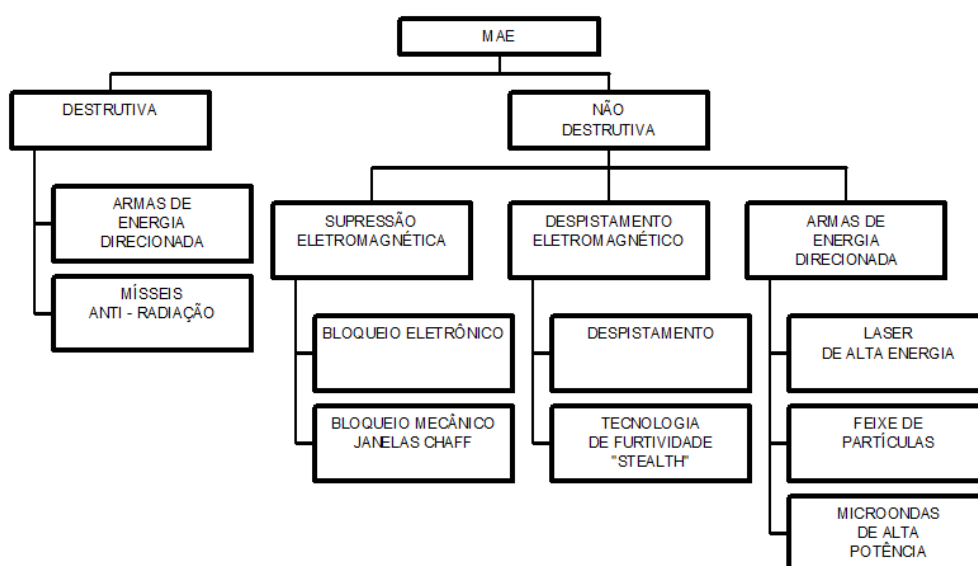
As MAE envolvem ações voltadas ao impedimento ou redução do efetivo uso do espectro eletromagnético por parte do inimigo, bem como destruir, degradar ou neutralizar sua capacidade combatente através de equipamentos ou sistemas que também utilizam o espectro. Seu objetivo primário é contrapor a utilização dos sistemas de vigilância, sistemas de armas e de comunicação do inimigo. Esta contraposição permite uma cobertura das ações da própria

força, através da não detecção inimiga ou mesmo por um despistamento gerado por nossa parte, onde somos supostamente alvos do RETRON inimigo.

Dois grupos básicos compõe a classificação das MAE: MAE não destrutivas (*soft kill*) e MAE destrutivas (*hard kill*), conforme ilustra a Figura 2.12. As MAE não destrutivas utilizam-se ativa ou passivamente do espectro eletromagnético, no entanto, não causam nenhum dano físico ao oponente. Por outro lado, as MAE destrutivas incorporam a letalidade à GE, podendo destruir equipamentos e sistemas que dependem de sensores influenciados pelos campos elétrico e magnético, através do uso de armas com grande capacidade de energia eletromagnética.

As medidas de *soft kill* baseiam-se em supressão eletromagnética, que pode se desempenhar através de bloqueio eletrônico ou bloqueio mecânico, despistamento eletromagnético, que pode se utilizar de sinal de despistamento ou tecnologia *stealth* e armas de energia direcionada com aplicação de laser, feixes de partículas ou micro-ondas de alta potência com fins degradativos. As armas de energia direcionada possuem também aplicação nas medidas de *hard kill*, porém com diferentes abordagens. Nas medidas de *hard kill*, é estabelecido o uso de armas de energia direcionada e mísseis anti-radiação, que possuem uma atuação invasiva e que podem alterar a estrutura da CGE inimiga. Um maior detalhamento sobre cada técnica intrínseca às MAE pode ser encontrado no Manual de Guerra Eletrônica da Marinha do Brasil.

Figura 2.12 – Divisão das MAE

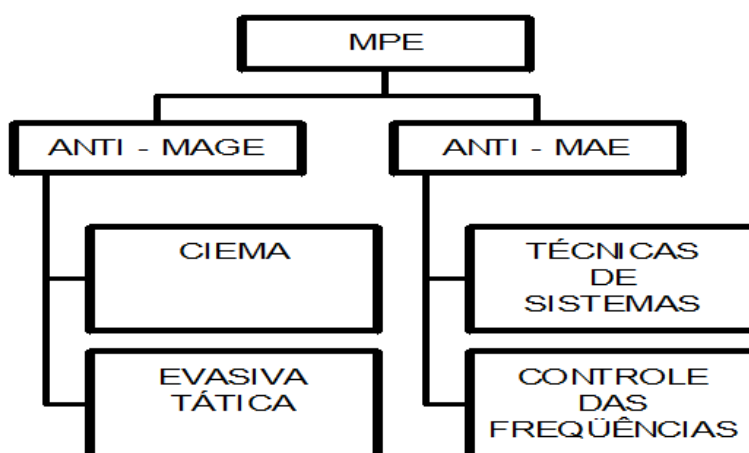


Fonte: Manual de Guerra Eletrônica (2003).

2.3.4.3 Medidas de Proteção Eletrônica

As MPE são o esforço da GE com finalidade de assegurar o uso efetivo e seguro do espectro eletromagnético, desta forma, busca-se uma constância na boa condução das operações independentemente das ações empreendidas pela GE inimiga. Sua missão consiste em negar as ações específicas de MAGE e MAE inimigos, sendo assim, é exatamente como se divide a sua atividade: anti-MAGE e anti-MAE, conforme ilustra a Figura 2.13.

Figura 2.13 – Divisão das MPE



Fonte: Manual de Guerra Eletrônica (2003).

As MPE anti-MAGE, consistem na negação dos conceitos anteriormente citados no item 2.3.4.1, através da execução do Controle das Irradiações Eletromagnéticas e Acústicas (CIEMA), controle este que como produto também oferece a prevenção contra interferências provocadas por emissões da própria Força ou ainda através de evasivas táticas, que mitigarão as ações de acompanhamento por parte das forças inimigas. As MPE anti-MAE, visam mitigar as ações das MAE inimigas citadas no item 2.3.4.2, bem como seus efeitos colaterais. Isto é realizado através de técnicas de sistemas e controle de frequências.

O CIEMA é uma técnica de MPE que consiste no silêncio eletrônico. Seu princípio básico é o de irradiar somente o imprescindível ao cumprimento da missão, tendo em vista que qualquer sinal pode ser detectado ao trafegar em meio não controlado, como é o caso do espectro eletromagnético.

Realizar evasivas táticas é uma alternativa que pode substituir o uso do CIEMA totalmente restrito. Sua execução ocorre por meio de manobras com os meios operativos de forma a impedir, retardar ou dificultar a detecção ou acompanhamento dos mesmos através do

empreendimento das MAGE inimigas. Estas evasivas podem ser elaboradas através das informações angariadas pelo RETRON dos sistemas oponentes de interceptação, geradas através da monitoragem.

Na execução das MPE anti-MAE, podem ser aplicadas as técnicas de sistemas, onde há a utilização de circuitos e recursos com este fim, podem ser redes criptografadas configurando canal exclusivo, ou mesmo o uso de uma criptografia própria, com tabelas combinadas de decifração, o que torna os padrões quase inacessíveis às tentativas inimigas de verificar o conteúdo do tráfego.

Além da utilização de canais de criptografia exclusiva ou métodos sistemáticos de transmissão de mensagens, podemos contar ainda com o controle de frequências, fazendo uma mudança rápida, constante e controlada da frequência. Essa troca de frequência é esperada tanto pelo operador de transmissão quanto o de recepção e não se descaracteriza também como uma técnica de sistema, pois os equipamentos utilizados deverão saber exatamente qual área do espectro magnético devem varrer para que haja comunicação efetiva e eficaz.

3 METODOLOGIA

Nesta seção detalharemos as ferramentas componentes de nosso estudo, com o intuito de esclarecer ao leitor as premissas adotadas e posteriormente as restrições encontradas. As ferramentas descritas serão baseadas no tipo da pesquisa, os métodos utilizados, o universo de amostragem considerado e a forma de coleta e tratamento de dados para consolidação da proposta de codificação de imagens.

3.1 Classificação da Pesquisa

Foi realizada para a conclusão deste trabalho, a pesquisa descritiva acerca das características de composição do plasma energético da ionosfera, modelos de propagação de ondas eletromagnéticas na faixa de frequência HF, segundo Gil (2017), a pesquisa descritiva busca descrever as características de determinados fenômenos e o estabelecimento de relações entre variáveis, tais quais cumprimos no subtópico 2.1.

Em extensão à pesquisa supracitada, foram utilizados artigos da última década disponibilizados nos sítios eletrônicos referentes aos temas de engenharia de telecomunicações e eletrônica, dentre estes destacamos o domínio do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) e as recomendações da União Internacional de Telecomunicações (UIT) de forma a nos oferecer os subsídios de uma pesquisa bibliográfica. Gil (2017) define como pesquisa bibliográfica como aquela desenvolvida com base em materiais já elaborados e que muitas vezes abordarão o mesmo problema sob diferentes perspectivas.

No que tange a parte de políticas adotadas nacionalmente quanto à segurança do tráfego de comunicações, foi realizada uma pesquisa descritiva acerca das doutrinas militares navais, emanadas tanto pelo Estado Maior da Armada (EMA) bem como os procedimentos específicos disseminados e determinados pela Organização Militar Orientadora Técnica (OMOT), o Comando de Operações Navais, ao qual pertence a pauta em destaque neste trabalho.

Na parte demonstrativa, realizamos uma pesquisa descritiva e bibliográfica buscando artigos e livros pertinentes aos assuntos de Sinais e Sistemas, com enfoque no tratamento e processamento de sinais, dos quais derivam os tratamento e processamento de imagens.

3.1.1 Quanto aos fins

A pesquisa teve por finalidade esclarecer componentes teóricos a respeito do ambiente de propagação das ondas em HF. Esta abordagem foi estabelecida desde seu meio de propagação, que consiste nas camadas ionosféricas e suas variações e efeitos intrínsecos e extrínsecos. Além disso, fizemos um apanhado do funcionamento das transmissões transionosféricas que, dentre as formas de propagação de onda, configuram a modalidade de maior interesse deste estudo. É também de importante análise a trajetória histórica que fora relatada acerca das comunicações em HF, de forma a compreender seu ambiente de pesquisa e utilização, seus percalços ao longo das gerações e desafios científicos do presente e do futuro, permitindo direcionar esforços operacionais e científicos em prol da superação dos atuais desafios tecnológicos. Dado todo este cenário, proporemos, de acordo com as políticas de Segurança da Informação regentes na Marinha do Brasil, um processamento digital de imagens para transmissão em um sinal de alta frequência. Isto permitirá, somado a futuros trabalhos, o empreendimento de métodos alternativos aos existentes para transmissão de mensagens, que possam ser utilizados na ausência de métodos convencionais, em casos de emergência ou de crise.

3.1.2 Quanto aos meios

Com o intuito específico de analisar o tratamento matemático de imagens, através da Transformada de Fourier e suas variações, utilizamos o software MATLAB versão R2018a licenciado pela empresa MathWorks e realizamos testes através da variação de parâmetros constantes na emissão de dados de imagens, que detalharemos no capítulo 4.

3.2 Limitações do Método

O método limitou-se a respeito do número de amostras tomadas, neste trabalho foi realizada apenas uma amostra da codificação que se propõe empreender. Este empreendimento, porém, advém de um tratamento matemático, portanto a análise de mais amostras, tantas quantas forem possível, permitirá em trabalhos futuros um refino do estudo concebido e do trabalho aplicado, abrindo espaço inclusive para a criação de um banco de dados com aspectos qualitativos e comparativos.

3.3 Universo e Amostragem

O universo considerado deste trabalho foi o território nacional, mais especificamente os locais militares que através de infraestrutura e equipamentos são capazes de estabelecer enlaces para a transmissão de um sinal utilizando o espectro eletromagnético na faixa de frequências HF.

3.4 Coleta e Tratamento de Dados

O tratamento dos dados foi realizado de forma qualitativa, não realizamos volume de pesquisa em quantidades, mas sim focado em entender o comportamento das funções e métodos escolhidos de forma a ajudarem a meta estipulada de transmissão de imagens por meio do espectro de alta frequência.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção apresentaremos experimentos realizados utilizando-se do *software* MATLAB, em prol da análise do tratamento de imagens, de forma a corroborar com a IMINT e permitir a utilização de uma codificação em oferta às comunicações HF como último recurso. Ressaltamos que a premissa aqui adotada assume que não há acessos aos métodos padrão adotados pela MB para a criptografia de dados de imagens e objetivamos manter o sigilo da imagem trafegada em meio livre.

4.1 Tratamento da Imagem

Utilizando os conceitos tratados até aqui, buscamos um tratamento de imagem de forma a preservar o sigilo das informações trafegadas em HF. O MATLAB é um programa originalmente criado para permitir um tratamento computacional e gráfico de matrizes e através de alguns de seus recursos faremos as transformações na imagem escolhida, conforme ilustra a Figura 4.1. O processamento desta imagem adotará o sistema *Red Green Blue* (RGB), onde as cores são quantizadas a partir de níveis presentes de cada pixel, R, G e B em sua composição.

Figura 4.1 - Imagem Original



Fonte: <<https://beeimg.com/view/h26180623>>

A imagem escolhida é uma imagem digital, ou seja, pode ser associada a uma matriz de valores na qual cada elemento é chamado de pixel e cada pixel corresponderá a uma coordenada específica em duas dimensões (MENDOZA, 2015). A Figura 4.1 possui o tamanho 300×300 pixels e é colorida. Sendo assim, seu tratamento por matriz terá a forma de uma matriz $A(i, j, k)$ onde i representa o índice de linhas, j representa o índice de colunas e k representa qual dos pixels RGB será escolhido.

Os comandos utilizados para o cumprimento desta etapa são realizados de acordo com a linguagem específica do programa MATLAB, e os comandos estão especificados na Tabela 4.1. A imagem gerada foi lida pelo programa como uma matriz $300 \times 300 \times 3$ ou ainda, pela representação anteriormente mencionada, $A(300,300,3)$.

Tabela 4.1 - Comandos Para Geração de Imagem

COMANDO	FUNÇÃO
$A = \text{imread}(\text{'Nomedaimagem'})$	Leitura da Imagem pelo MATLAB, associando à variável A .
$\text{figure}; \text{imshow}(A);$	Apresentação em formato de figura da imagem da variável A .

Fonte: o autor.

4.1.1 Conversão Para Tons de Cinza

Com o intuito de economizar esforço computacional, converteremos a imagem original para tons de cinza, conforme mostra a Figura 4.2, de forma a tratar uma matriz $B(i, j)$ suprimindo a variável correspondente ao pixel, uma vez que trataremos somente o pixel branco. Desta forma, a representação em tons de cinza fará com que entendamos a imagem como uma variação entre 0 e G , onde G será o valor máximo correspondente ao branco, 0 corresponderá ao preto e os valores intermediários serão nossa leitura dos tons de cinza. Além disso, a supressão da variável k na matriz reduz o nosso espaço amostral de coordenadas para uma matriz 300×300 .

A imagem em tons de cinza é o formato de dado que queremos transmitir, assim sendo, é neste formato em que trabalharemos a codificação para transmissão. É relevante mencionar que a escolha do formato em prol de economia computacional e de processamento dos equipamentos envolvidos foi feita de forma a não perder a informação essencial da imagem.

Cada imagem deverá ser submetida a uma análise individual sobre os métodos de tratamento que podem ser aplicados e as características originais que se quer preservar.

Figura 4.2 - Imagem Convertida Para Tons de Cinza



Fonte: o autor.

Os comandos utilizados para o cumprimento desta etapa estão especificados na Tabela 4.2. A imagem gerada foi lida pelo programa como uma matriz 300×300 , onde conforme mencionamos anteriormente suprimiu-se a variável de pixel. A representação automaticamente adotada foi $A2(300,300)$.

Tabela 4.2 - Conversão Para Tons de Cinza

COMANDO	FUNÇÃO
<code>A2 = rgb2gray(A);</code>	Conversão da imagem para tons de cinza, associando à variável A2.
<code>figure; imshow(A2);</code>	Apresentação em formato de figura da imagem da variável A2.

Fonte: o autor.

4.1.2 Codificação Para Transmissão

Alcançado o tratamento da imagem original para se tornar o dado que queremos transmitir, agora precisamos codificar este dado, de forma a preservar o sigilo da informação

que queremos enviar. A forma de transmissão proposta neste trabalho consiste em codificar uma imagem em forma de sinal binário, para que possa ser transmitida via modem para um rádio e sua emissão possa se dar através de uma antena HF, que terá grande alcance, a depender do enlace estabelecido.

Primeiramente, vamos serializar a nossa variável A_2 , correspondente à imagem convertida para tons de cinza. A serialização consiste numa mudança de apresentação da matriz. O que antes era representado como uma variável $A_2(300,300)$, agora será representada como um vetor coluna A_3 , onde a representação fica $A_3(90.000)$, com 90.000 termos. A serialização é importante, pois estaremos sequenciando as informações que antes se apresentavam em forma de coordenadas para que tenham um novo aspecto enfileirado. É este aspecto que buscamos para a binarização do sinal a ser transmitido via modem.

Após a serialização do sinal, utilizaremos o método do algoritmo da Transformada Rápida de Fourier, do inglês *Fast Fourier Transform* (FFT). A FFT consiste em um algoritmo da Transformada Discreta de Fourier, do inglês *Discrete Fourier Transform* (DFT), que atua como uma ferramenta para melhorar o número de iterações computacionais, reduzindo o número de operações necessárias para N pontos da ordem de N^2 operações para $N \log_2 N$ operações. Segundo Lathi (2007), a FFT é o que torna a Transformada de Fourier uma técnica de uso acessível para processamento de sinais, pois mesmo para computadores potentes, conforme o número N cresça, esforço de processamento crescerá sensivelmente.

Aplicado o algoritmo FFT ao nosso vetor coluna $A_3(90000)$, obtemos agora um vetor coluna complexo $F(90.000)$, sendo F um vetor complexo. Aqui utilizamos a FFT unidimensional pelo fato da simetria em coluna ser mais facilmente observável do que a FFT em duas dimensões, já que neste último caso, a simetria seria a combinação das simetrias tanto em linha quanto em coluna, fato este que dificulta a previsibilidade sobre o comportamento.

O vetor coluna F possui o primeiro elemento real e simetria hermitiana de coluna centrada no seu termo $\frac{N}{2} + 1$ que também é real. Desta forma, para reduzir a quantidade de tráfego a emitir, criaremos um novo vetor coluna $F_{parcial}$ de forma a contemplar os elementos de F do primeiro ao $(\frac{N}{2} + 1)$ -ésimo termo, assim evitaremos a transmissão da parte simétrica do sinal. Novamente esta operação se dará através da serialização, que desta vez será aplicada ao próprio F , o resultado é um vetor coluna $F_{parcial}$ (45.001) com 45.001 termos.

Inicialmente, estabelecemos a intenção de enviar sinais binários através de um sinal de onda, para tal, queremos obter um sinal que seja puramente real para então realizar a conversão de decimal para binário. Em virtude disto, concatenaremos o vetor $F_{parcial}$ em um novo vetor

$F2$ que será resultado da concatenação da parte real de $F_{parcial}$ com a parte imaginária de $F_{parcial}$ indo do segundo elemento (lembrando que o primeiro elemento de $F_{parcial}$ é real) até o $(N - 1)$ -ésimo elemento (lembrando que o N -ésimo elemento de $F_{parcial}$ é real e centro da simetria hermitiana originada em F). Desta forma obteremos todos os valores isentos de sua parte imaginária, sendo preservada apenas sua magnitude.

Os códigos utilizados para a realização desta etapa de codificação para transmissão estão descritos na Tabela 4.3, onde as representações foram respectivamente $A3(90.000)$ um vetor coluna obtido a partir da serialização de $A2$ que é uma matriz de 300×300 , $F(90.000)$ sendo um vetor coluna de 90000 elementos com elementos complexos e simetria hermitiana obtido da aplicação do filtro FFT ao $A3$, $F_{parcial}(45.001)$ um vetor coluna de 45.001 elementos após a exclusão da segunda metade da simetria de F e $F2(90.000)$ um vetor coluna composto somente pelas partes reais após a concatenação dos elementos reais e imaginários de $F_{parcial}$, de 90000 elementos.

Tabela 4.3 – Codificação Para Transmissão

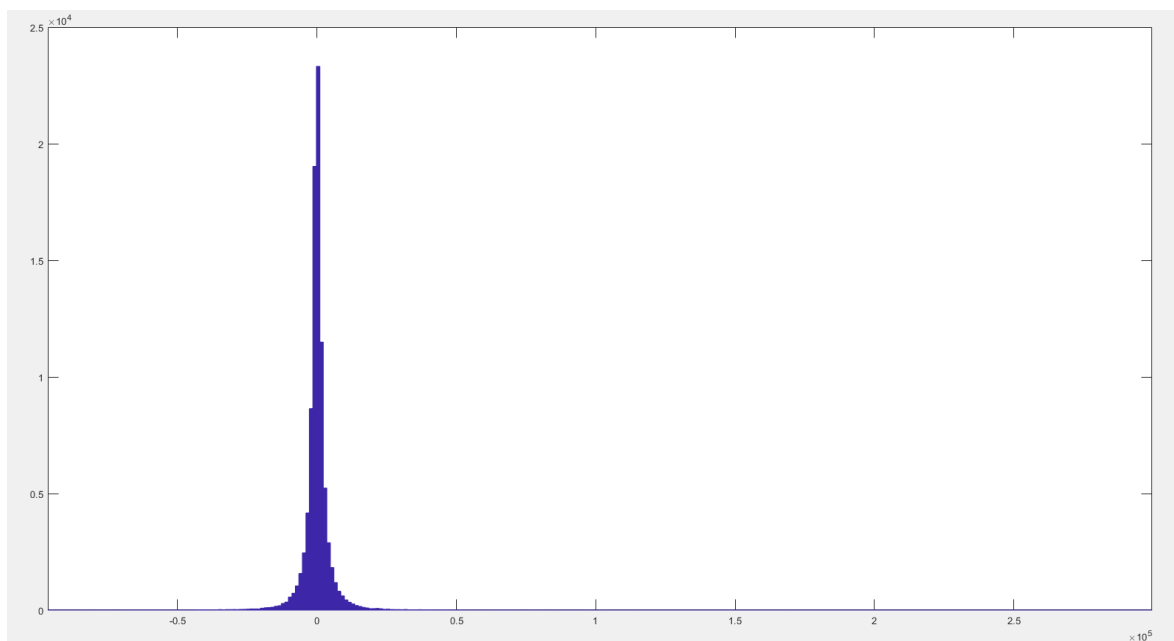
COMANDO	FUNÇÃO
$A3 = A2(:)$	Serialização da matriz contida em $A2$, transformando em vetor coluna.
$F = fft(A3)$	Aplicação do algoritmo de FFT à $A3$, que agora representa um vetor coluna.
$F_{parcial} = F(1: end/2 + 1)$	Limitação do vetor coluna F do seu primeiro ao $(\frac{N}{2} + 1)$ -ésimo termo.
$F2 = [real(F_{parcial}); imag(F_{parcial}(2:end-1))]$	Concatenação dos elementos de $F_{parcial}$ do segundo ao $(N + 1)$ -ésimo termo, de forma a obter os valores reais.

Fonte: o autor.

A seguir, no Gráfico 4.1, apresentaremos um histograma de $F2$, que é o produto do dado codificado que queremos transmitir. De acordo com (JARADAT; KEATING; BRADLEY, 2014), o histograma indica o número ou o percentual de pixels que a imagem possui em uma determinada cor, ou em nosso caso em determinado tom de cinza. A partir dele podemos ter uma breve apresentação de qualidade da imagem, vistos por parâmetros como contraste e luminosidade. A análise do histograma deverá ser feita caso a caso, para que seja possível verificar o comportamento da imagem quanto ao seu alargamento ou supressão, de modo a

preservar as características essenciais da imagem com a qual queremos trabalhar. O gráfico 4.1 mostra um histograma do sinal utilizando 10.000 classes. Nele percebemos que há uma concentração de informação dentro de um trecho centrado em 0, ou seja, de baixa amplitude.

Gráfico 4.1. – Histograma obtido de F2



Fonte: o autor.

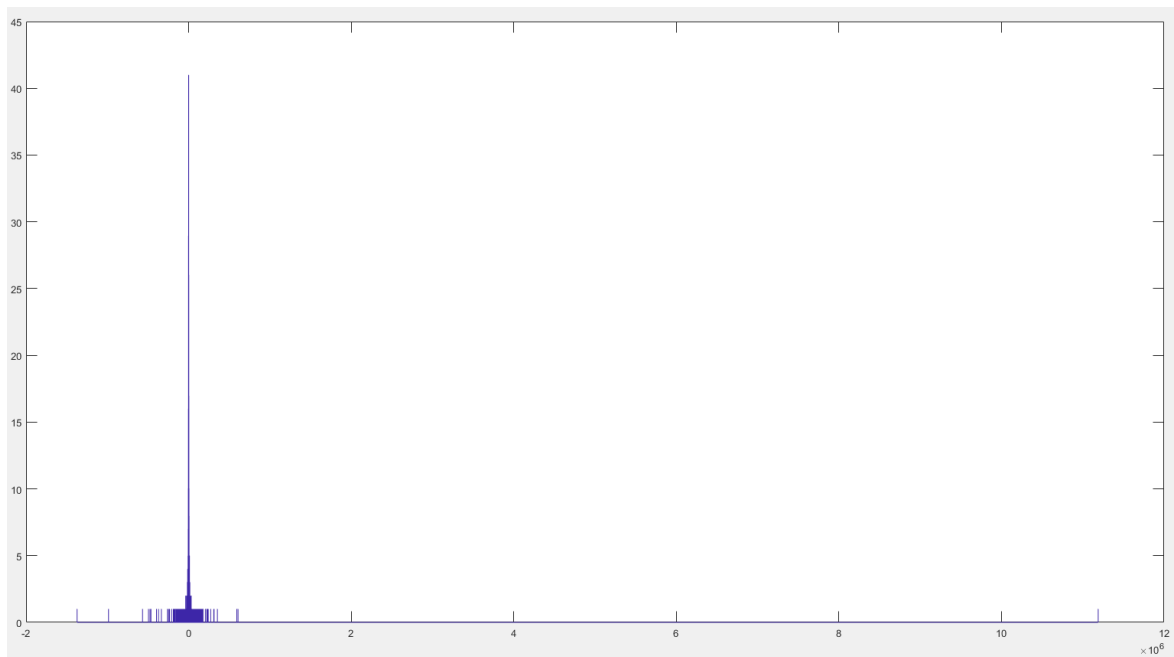
4.1.3 Quantização Para Transmissão

Cumprido o passo de codificação do dado de imagem, iremos neste tópico listar e executar as ações necessárias para quantizar a informação encriptada que deverá ser transmitida.

Primeiramente, criaremos o valor V , que corresponderá ao valor máximo contido no vetor $F2$. Esta análise nos dará correspondência aos limites de variação do sinal codificado e que futuramente será transmitido. Este valor será obtido através da concatenação dos absolutos das partes reais e imaginárias do vetor $F2$. Como anteriormente tratamos $F2$ para que obtivesse valores puramente reais, o correspondente ao absoluto de sua parte imaginária será zero, desta forma, o valor V será um escalar, pelo fato de ser tratado no *software* como uma matriz 1×1 . Na imagem codificada, o valor máximo de V foi de 11.189.165 que é da ordem de 10^7 .

O Gráfico 4.2 mostra o histograma de $F2$ utilizando 11.000.000 de classes, de forma a comprovar o exposto na exibição do Gráfico 4.1, que é a concentração da informação nos valores até $0,5 \times 10^5$.

Gráfico 4.2 – Histograma de F2 para 11.000.000 de amostras



Fonte: o autor.

Este dado nos fornece a análise de como varia a concentração de informação da imagem. A partir da análise quantitativa de mais imagens, é possível gerar um banco de dados, a partir das imagens tratadas para obter um padrão de como a concentração de dados se comporta.

Agora que temos mensurado o valor de V , queremos quantizar o vetor $F2$ de forma a permitir a transmissão em sinal de onda. Para a realização deste passo, utilizaremos a função *uencode*, cuja colaboração é fazer uma função resultante que saturará todas as saídas que constam fora intervalo mensurado que será $[-V, V]$ e dentro deste intervalo o valor do sinal amostrado será quantizado de acordo com 2^n níveis, onde n corresponde ao número de bits estipulados para quantizar esta amostra. O produto desta interação nos dará a variável $F_{quantizado}$ que corresponde aos valores de $F2$ quantizados em 2^n níveis, no caso de nossa amostra, após analisar através de tentativas o número de bits, adotamos $n = 18$, ou seja, a amostragem de $F2$ contou finalmente com 2^{18} níveis, totalizando 262.144 níveis de amostragem.

Os códigos utilizados para o cumprimento desta etapa do trabalho constam na Tabela 4.4, onde V é um número escalar, $F2$ é o vetor coluna de 90.000 elementos reais e $F_{quantizado}$ é o vetor coluna de 90.000 elementos, correspondente à quantização dos valores de $F2$ representado em 2^{18} níveis.

Tabela 4.4 – Codificação Para Quantização

COMANDO	FUNÇÃO
$V = \max \left(\left[\max \left(\text{abs}(\text{real}(F2)) \right), \max \left(\text{abs}(\text{imag}(F2)) \right) \right] \right);$	Atribuição de valor do intervalo a ser observado, que corresponde à maior magnitude contida em $F2$.
$F_{\text{quantizado}} = \text{uencode}(F2, n, V)$	Quantização dos valores de $F2$, correspondentes ao intervalo V , utilizando n bits para representação.

Fonte: o autor.

4.1.4 Binarização Para Transmissão

Terminada a fase de quantização do sinal, é hora de alcançar nosso produto final de transmissão, que é uma sequência de zeros e uns para ser transmitida via sinal de onda. Para obter este resultado, faremos a binarização correspondente à saída do vetor $F_{\text{quantizado}}$ correspondente ao número de níveis que optamos usar, que no caso do nosso estudo foi $n = 18$.

O resultado desta operação nos dará uma matriz $F_{\text{binário}}$, com a configuração $F_{\text{binário}}(90.000 \times 18)$ sendo uma matriz de 90.000 linhas por 18 colunas, onde cada linha representa o antigo valor das antigas linhas de $F_{\text{quantizado}}$ representado por 18 bits, distribuído através das 18 colunas criadas. A opção de apresentação de 90.000 linhas por 18 colunas foi opcional e obtida após a transposição da matriz, o formato original seria (18×90.000) . Desta forma, a transmissão será feita de forma a obter a informação de um nível a cada 18 bits transmitidos, ou seja, o primeiro nível será representado pelo primeiro bit, pelo décimo nono bit, pelo trigésimo sétimo bit e assim sucessivamente.

Como etapa final da transmissão, serializaremos a matriz $F_{\text{binário}}$ de forma a obter um novo vetor linha, que representará uma sequência enfileirada de bits 0 e 1, o qual chamaremos de $F_{\text{saída}}$.

Os comandos utilizados para o cumprimento desta etapa estão descritos na Tabela 4.5, sendo representados os passos de binarização do sinal quantizado e sua organização em uma simples coluna, caracterizando o vetor final de transmissão que queremos como produto desta primeira parte do tratamento.

Tabela 4.5 – Binarização Para Quantização

COMANDO	FUNÇÃO
$F_{binário} = de2bi(F_{quantizado}, n) \cdot ';$	Binarização do sinal $F_{quantizado}$, adotando n bits de representação e apresentação final da matriz transposta.
$F_{saída} = F_{binário} (:);$	Serialização da saída de $F_{binário}$ para obtenção da sequência de bits, amostrados coluna por coluna.

Fonte: o autor.

4.1.5 Remodelagem do Sinal Para Recepção

Os objetivos desta etapa consistem em fazer o processo inverso ao de codificações para transmissão de forma a obter de forma clara o dado enviado de maneira encriptada. Inicialmente, trataremos a conversão do sinal binário para decimal. Conforme tratado anteriormente, os dados binários foram enviados em formato de vetor coluna, assim sendo para recuperá-los, precisamos retorná-los à sua forma original.

O primeiro passo da recepção será remodelar a sequência de dados obtida através do comando *reshape*. Este comando permitirá a reorganização do sinal originalmente transmitido de volta à sua forma original. Não é necessário que o transmissor saiba a forma original exata da matriz que gerou o dado de transmissão, para isto, utilizaremos o parâmetro “[]”, que na linguagem do programa MATLAB é interpretado como remodelar automaticamente para o número de elementos necessários. Devemos atentar, porém que o número de bits com o qual o transmissor quantizou a mensagem é de conhecimento necessário do operador de recepção. Com este conhecimento em mãos, os parâmetros utilizados serão o sinal transmitido $F_{saída}$, o número de bits utilizados na quantização e o parâmetro “[]” para remodelar o sinal no tamanho necessário, de acordo com os bits obtendo uma matriz $G_{remodelado}$ que será uma matriz 90.000×18 correspondente na recepção. Lembrando que para obter a correta conversão, devemos novamente transpor a matriz de entrada, conforme foi feito no processo de transmissão. Feita esta remodelagem, teremos a matriz de tamanho correspondente à matriz da transmissão, agora podemos executar a conversão inversa à binarização, de volta aos valores decimais obtendo um $G_{decimal}$ que será um vetor coluna de 90.000 elementos, onde são recuperados os valores descritos em cada linha da matriz $G_{remodelado}$.

Os comandos utilizados na etapa de remodelagem estão descritos na Tabela 4.6, e serão utilizados os conceitos das variáveis citadas anteriormente.

Tabela 4.6 – Remodelagem do Sinal para Recepção

COMANDO	FUNÇÃO
$G_{remodelado} = reshape(F_{saída}, n, []).';$	Remodelagem do sinal utilizando o sinal de saída e o conhecimento prévio de número de bits utilizados na transmissão.
$G_{decimal} = bi2de(G_{remodelado});$	Conversão do sinal anteriormente distribuído em bits 0 e 1 de volta para valores decimais.

Fonte: o autor.

4.1.6 Quantização Inversa Para Recepção

Após a etapa de remodelagem, precisamos fazer a quantização inversa do sinal, pois agora não queremos apenas o sinal quantizado, queremos o que o dado era originalmente para que possamos resgatar com boa aproximação o que foi transmitido.

Para a realização da quantização inversa utilizaremos o comando contrário ao anteriormente utilizado *uencode*, que é o *uddecode*. Nele precisaremos utilizar como entrada o vetor $G_{decimal}$ e o número n de bits utilizados no *uencode*, obtendo o $G_{quantizado}$ com forma de vetor coluna com 90.000 elementos reais com valores que variam de $[-1, 1]$. O comando utilizado nesta etapa consta na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Quantização Inversa do Sinal para Recepção

COMANDO	FUNÇÃO
$G_{quantizado} = udecode(G_{decimal}, n)$	Decodificação do sinal codificado para transmissão, utilizando a recuperação em forma decimal e o número de bits utilizados na transmissão.

Fonte: o autor.

4.1.7 Decodificação Para Recepção

Agora faremos o tratamento inverso ao tratamento realizado quanto à simetria hermitiana presente no dado de transmissão. Para tal, vamos lembrar que a simetria possuía centro no $(\frac{N}{2} + 1)$ -ésimo termo, sendo assim, queremos obter um G_{decod} que representará um vetor de 45.001 elementos complexos e já na recepção desdobraremos este vetor obtido respeitando as características da simetria hermitiana para recuperar a informação original, que era nossa informação codificada com 90.000 elementos complexos.

Na execução desta tarefa, precisaremos primeiro recuperar o vetor correspondente ao vetor de 90.000 elementos complexos que chamaremos de G_{rec} . Sua obtenção se dará através da composição da primeira metade de $G_{quantizado}$ e uma multiplicação do vetor j pela segunda metade de $G_{quantizado}$ após o $(\frac{N}{2} + 1)$ -ésimo termo. Finalmente, precisaremos inverter a segunda metade do vetor obtido e obter seu conjugado complexo para respeitar completamente a preservação da simetria hermitiana, isto será feito com a função *flipud*, que inverte os elementos e com a função *conj*, que provê a obtenção do conjugado complexo. Após esta organização concatenaremos G_{rec} com a inversão de seu conjugado complexo para obter um G_{aux} . Este G_{aux} é um vetor coluna de 90.000 elementos complexos que é o sinal pronto para sofrer a transformação inversa e receber a mensagem enviada.

Finalmente, obteremos o G_{aux2} através da aplicação da função inversa ao algoritmo FFT, *ifft*. Este é o sinal decodificado, porém numa apresentação de vetor coluna, então deveremos remodelar de volta ao seu formato original, do qual pelo molde de 90.000 elementos do vetor obtido podemos inferir partir de uma matriz 300x300.

Os códigos efetuados para a conclusão desta etapa estão discriminados na Tabela 4.8. A imagem recuperada é ilustrada pela Figura 4.3.

Tabela 4.8 – Decodificação do Sinal para Recepção

COMANDO	FUNÇÃO
$G_{rec} = G_{quantizado}(1:end/2 + 1) + 1j$ $* [0; G_{quantizado}; 0];$	Recomposição do sinal recebido de volta à forma de número complexo, inerente à transformação pela FFT.
$G_{aux} = [G_{rec}; flipud(conj(G_{rec}(2:end - 1)))];$	Reconstrução do vetor equivalente ao vetor de transmissão, com a simetria hermitiana.
$G_{aux2} = ifft(G_{aux});$	Operação inversa à aplicada pelo algoritmo FFT.
$G_{final} = reshape(G_{aux2}, [300,300]);$	Remodelação do sinal para o formato da matriz original.

Fonte: o autor.

Figura 4.3 – Imagem Recuperada



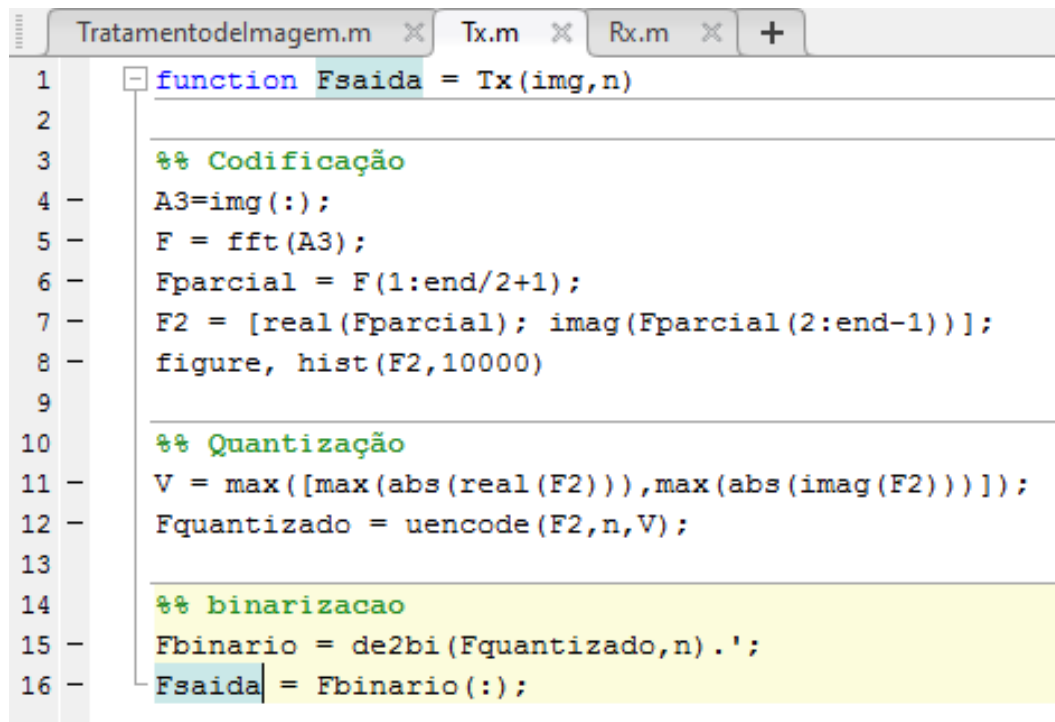
Fonte: o autor

4.1.8 Panorama Geral

Ao término destas mediações através das ferramentas fornecidas pelo *software* MATLAB, conseguimos através de códigos sequenciados e logicamente encadeados, fornecer um processamento digital de imagens, possibilitando o envio em HF de imagens contendo informações, táticas ou não, em um formato que impossibilite a sua interpretação mediante interceptação. Após a realização de todas as etapas aglutinamos todas as funções na forma de um código, com o intuito de facilitar a leitura e o entendimento dos leitores. Contamos ainda com a geração de scripts, que generalizam as funções de transmissão e recepção, os quais na prática deste trabalho foram realizados no mesmo ambiente de computação, mas que na prática serão executados isoladamente por operadores de transmissão e recepção respectivamente.

As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 ilustram a aglutinação das funções até aqui trabalhadas, detalhando as funções script de transmissão, script de recepção e o panorama geral do código respectivamente. É possível fazer diversos scripts além dos que foram feitos neste trabalho, devendo apenas observar a obediência aos padrões com os quais se quer trabalhar. A construção de um banco de dados subsidiará diretamente esta tarefa. O pleno entendimento do efeito que cada etapa do tratamento gera em uma imagem nos permite o refinamento do estudo e a consequente melhora no produto entregue.

Figura 4.4 – Script de Transmissão



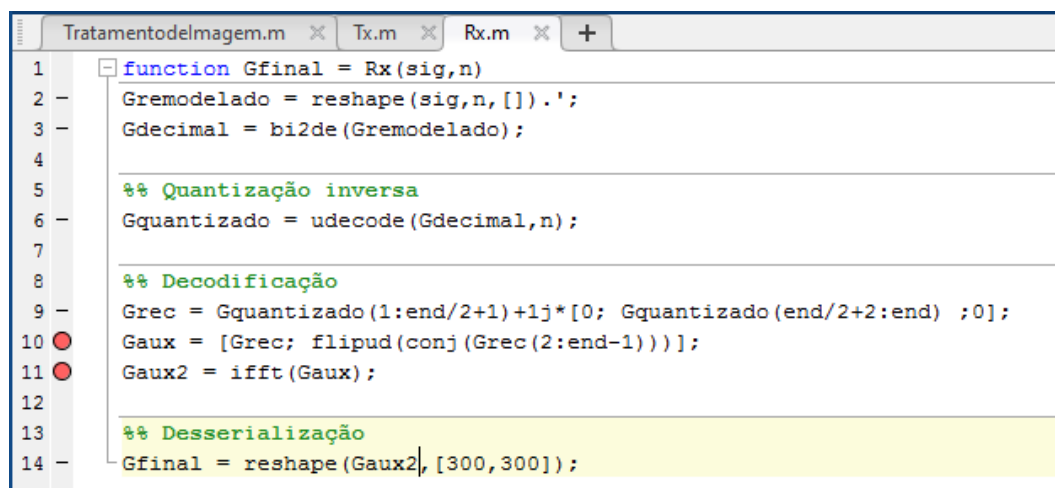
```

1 function Fsaida = Tx(img,n)
2
3 %% Codificação
4 A3=img(:);
5 F = fft(A3);
6 Fparcial = F(1:end/2+1);
7 F2 = [real(Fparcial); imag(Fparcial(2:end-1))];
8 figure, hist(F2,10000)
9
10 %% Quantização
11 V = max([max(abs(real(F2))),max(abs(imag(F2)))]);
12 Fquantizado = uencode(F2,n,V);
13
14 %% binarizacao
15 Fbinario = de2bi(Fquantizado,n).';
16 Fsaida = Fbinario(:);

```

Fonte: o autor.

Figura 4.5 – Script de Recepção



```

1 function Gfinal = Rx(sig,n)
2 Gremodelado = reshape(sig,n,[]).';
3 Gdecimal = bi2de(Gremodelado);
4
5 %% Quantização inversa
6 Gquantizado = udecode(Gdecimal,n);
7
8 %% Decodificação
9 Grec = Gquantizado(1:end/2+1)+1j*[0; Gquantizado(end/2+2:end);0];
10 Gaux = [Grec; flipud(conj(Grec(2:end-1)))];
11 Gaux2 = ifft(Gaux);
12
13 %% Desserialização
14 Gfinal = reshape(Gaux2,[300,300]);

```

Fonte: o autor.

Figura 4.6 – Código Geral

```
Tratamentodelimagem.m x Tx.m x Rx.m x +
1 -   clc
2 -   clear all
3 -   close all
4
5   %% Carregar a Imagem Original
6 -   A=imread('Cachorro.jpg');
7 -   figure;imshow(A);title('Imagem Original');
8 -   A2=rgb2gray(A);
9 -   figure;imshow(A2);title('Imagem Convertida para Tons de Cinza');
10
11  %% Função Tx
12 -   n = 18;
13 -   sig = Tx(A2,n);
14
15  %% Função Rx
16 -   A2_rec = Rx(sig,n);
17
18  %% Imagem Recuperado
19 -   figure;imshow(A2_rec,[]);title('Imagem recuperada');
20
```

Fonte: o autor.

5 CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho, pudemos perceber a importância do conhecimento acerca dos comportamentos previsíveis da camada ionosférica quando se trata da interação das suas camadas intrínsecas com um sinal de onda eletromagnética. Obtivemos a compreensão do comportamento individual das subcamadas ionosféricas em relação ao ciclo solar, horários do dia e da noite e a frequência de sinal incidente, tanto para os casos de refração, quanto para os casos de reflexão total ou parcial. Ademais, vislumbramos suas limitações físicas de transmissão, que de acordo com o ângulo de incidência do sinal, que pode acarretar o aparecimento de zonas de silêncio. Isto facilitará a condução de um estudo futuro sobre o estabelecimento de um enlace, bem como os parâmetros que deverão ser observados para que seja aumentada sua probabilidade de sucesso e também sua eficiência de execução.

Quanto ao estudo dos sistemas de transmissão em HF, esclarecemos seus métodos e evoluções ao longo do tempo, bem como elucidamos os presentes desafios da pesquisa e do desenvolvimento quanto à superação das dificuldades e desafios presentes: a necessidade de uma comunicação rápida e que preserve os requisitos fundamentais de integridade, autenticidade e sigilo. Para isto, são necessárias melhoras na confiabilidade do sistema de HF, pois desta forma mitigaremos a imprevisibilidade das variáveis envolvidas na propagação de um sinal eletromagnético através de camadas ionosféricas. Além disso, o uso abrangente dos sistemas de HF através de um acesso remoto em grande escala, poderá causar uma interferência intercorrente entre usuários, portanto devemos buscar constantemente métodos e alternativas para aumentar as taxas de transferência, principalmente para manter o fluxo de informações com maior densidade como imagens, por exemplo, que tem uma importância fundamental na fluidez das informações nos dias atuais

No escopo das políticas e doutrinas vigentes na Marinha do Brasil, pudemos melhor entender sobre uma visão panorâmica geral do conceito de GE. Vislumbramos de forma concisa e precisa seus principais desafios acerca de preservar o nosso efetivo uso do espectro eletromagnético, bem como aprimorar a nossa CGE de forma a poder negar o uso deste espectro ao inimigo, bem como nos contrapor à uma tentativa de ataque eletrônico às nossas estruturas.

Finalmente, aliando todos os conceitos supracitados, foi possível gerar uma proposta de uso alternativo do espectro na faixa de HF, para transmissão de imagens, através de um processamento digital, capaz de ser utilizada em situações rotineira ou em situações de impossibilidade da utilização dos demais meios de comunicações, ampliando o leque de

possibilidades de operação para que se possa manter um fluxo de comunicação com a segurança do dado de imagem trafegado.

5.1 Considerações Finais

A compilação da forma final do presente estudo nos permite uma perspectiva de manutenção do fluxo de informações para que esta seja feita de forma segura e concordante com as diretrizes que regem nossas instituições.

O produto oferecido no Capítulo 4 nos mostra que, em posse de um computador que possua o *software* MATLAB, podemos tratar o dado de imagem, preservando suas características fundamentais para que não seja corrompida a sua inteligibilidade. Podemos ainda fornecer uma informação criptografada através de uma FFT. Apesar da realização desta criptografia ser simples, sua boa execução nos oferece uma ferramenta poderosa. A justificativa disto é que quando observamos a forma final alcançada do código, podemos perceber que o único compartilhamento de dados necessário entre a origem transmissora e o destino receptor é o dimensionamento da imagem na forma de coordenadas de pixels e o número de bits utilizados para a codificação.

5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

Considerando todo o aparato abordado e experimentado nesta obra, sugerimos para a realização de trabalhos futuros primeiramente a tentativa de refino dos estudos efetuados com os dados de imagem. As tentativas de interação para confecção deste trabalho mostraram que ao variar alguns parâmetros como resolução da imagem em pixels e o número de bits utilizados para a amostra, podemos obter resultados diferentes e intuitivos, a cada iteração.

Em posse destes dados, poderão ser realizadas não só pesquisas qualitativas como esta, mas também pesquisas quantitativas, fomentando a criação de um banco de dados, subsidiado pela coleta de suficientes amostras produzidas pela variação dos parâmetros.

Sob outra abordagem, este trabalho necessita ser incrementado, de forma a obtermos um verdadeiro circuito de transmissão, o qual vai desde a estação de trabalho do operador que codifica a imagem (nosso objeto de trabalho) e passa pela codificação para saída dos modems

utilizados na Marinha do Brasil, de modo que haja compatibilidade entre o dado enviado e a plataforma recebedora. Além disto, a amostragem do código final a ser transmitido na forma de um sinal de onda, permitindo que sua transmissão seja realizada por rádios HF genéricos.

REFERÊNCIAS

ADAMY, D. **EW 101: A first course in electronic warfare**. Norwood, United States: Artech House, 2001. 297 p. ISBN 978-1580531696.

AGARD. Radio Wave Propagation Modeling, Prediction and Assessment. **NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION**, [S. l.], p. 1-25, 1990.

AHRENS, C. Donald. **Meteorology Today: An Introduction to weather, climate and the environment**. 9^a. ed. [S. l.]: Brooks/Cole, 2009. ISBN 13:978-0-495-55573-5.

BATISTA, I. A camada ionosférica F3. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s. l.], v. 17, p. 2-3, 11 nov. 1999.

BRASIL. Comando da Marinha. **Doutrina Básica da Marinha**. 2015a.

_____. **Doutrina de Inteligência da Marinha**. 2009.

_____. **Manual de Guerra Eletrônica**. 2003.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Doutrina para o Sistema Militar de Comando e Controle**. Brasília, DF, 2015c. Disponível em: https://www.defesa.gov.br/arquivos/legislacao/emcfa/publicacoes/comando_controle/md31_m_03_dout_sismc_3_ed_2015.pdf acesso em 23 dez. 2019.

_____. **Política de Segurança da Informação para o Sistema Militar de Comando e Controle**. Brasília, DF, 2015b.

BRASIL. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. **A estrutura elétrica da atmosfera** Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/electricidade.atmosferica/estrutura.eletrica.da.atmosfera.php>. Acesso em: 17 jan. 2020.

_____. **Sondadores Ionosféricos** Disponível em: <http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/sondadores-ionosfericos/>, acesso em 17 jan. 2020b.ok

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6^a ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HONG, S. **Wireless, from Marconi's Black-Box to the Audion**, Cambridge MA: MIT Press, 2001.

JARADAT, R. M.; KEATING, C. B.; BRADLEY, J. M. A histogram analysis for system of systems. **Int. J. System of Systems Engineering**, [s. l.], v. 5, ed. 3, p. 193-227, 15 abr. 2014.

JOHNSON, E. *et al.* **Third Generation and Wideband HF Radio Communications**, Norwood, MA: Artech House, 2013. ISBN-13: 978-1608075034.

LATHI, B.P. **Sinais e Sistemas Lineares**. 2^a. ed. [S. l.]: Bookman, 2007. ISBN 0-19-515833-4.

LIMA, E. G. 2011. **Dicionário de Termos e Nomenclaturas em Nanotecnologia e Novas Ciências**. São Paulo: Estudos Acadêmicos. p. 115

MENDOZA, F. **Basics of Image Analysis**, New York: Springer Science Business, 2015.

PAIVA, J. A. **Efeitos da Ionosfera de Baixas Latitudes no GPS – SBAS (Global System Positioning –Space Based Augmentation System)**. 2004. Tese de Mestrado (Engenharia Eletrônica) - S, [S. l.], 2004.

PERKIÖMÄKI, J. **VOACAP Quick Guide**.

Disponível em: <https://www.voacap.com/>, acesso em 17 jan. 2020.

ROHDE-SCHWARZ. Introduction into Theory of Direction Finding. **Rohde-Schwarz Technologies**, [S. l.], 2017, p. 1-8. Disponível em:

<http://www.rohde-schwarz-usa.com/rs/324-UVH-477/images/TheoryofDF.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2020.

SILVA, Denis Rocha da. **Efeitos Do SSW Na Ionosfera Equatorial Observado Pelo Tec: Estudo De Caso**. 2018. Tese de Mestrado (Engenharia Eletrônica), 2018.

WANG, J.; DING, G.; WANG, H. HF Communications: Past, Present and Future. **China Communications**, China, p. 1-9, 12 set. 2018.

WITVLIET, B. Near Vertical Incidence Skywave Propagation: Elevation Angles and Optimum Antenna Height for Horizontal Dipole Antennas Ben. **IEEE Antennas and Propagation 146 Magazine**, [s. l.], v. 57, n. 1, 20 fev. 2015.

VIEIRA, ANTÔNIO J. F.; BALOD, Y. C. **Comunicação em Alta Frequência, versátil e imprescindível** – Simpósio de Comunicação em Alta Frequência – Rio de Janeiro, RJ – 2017.
