

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

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM  
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÕES

RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE (RDS): Estudo dos benefícios e características na  
aplicação nos meios navais



1T (QC-CA) RAMON VILLAR OLIVEIRA

Rio de Janeiro  
2020

1T (QC-CA) RAMON VILLAR OLIVEIRA

RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE (RDS): Estudo dos benefícios e características na aplicação nos meios navais

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de informação e comunicações.

Orientadores:

CC Érico da Silva Dias de Oliveira Martins.

Carlos Vinicio Rodríguez Ron, D Sc.

CIAW  
Rio de Janeiro  
2020

OLIVEIRA, Ramon Villar.

Rádio Definido por Software (RDS): estudo dos benefícios e características na aplicação nos meios navais / Ramon Villar Oliveira. Rio de Janeiro: CIAW, 2020.

Total de folhas. 60f.: il.

Orientadores: CC Érico da Silva Dias de Oliveira Martins;  
Dr. Carlos Vinicio Rodríguez Ron.

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

1. RDS. 2. Interoperabilidade. 3. RDS-Defesa. 4. Operações conjuntas. I. Centro de Instrução Almirante Wandenkolk. Centro de Pós-Graduação Avançada. II. Título.

1T (QC-CA) RAMON VILLAR OLIVEIRA

RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE (RDS): Estudo dos benefícios e características na aplicação nos meios navais

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

Aprovada em 24 de março de 2020.

Banca Examinadora:

---

Gian Karlo Huback Macedo de Almeida, Capitão de Mar e Guerra (RM1-EN) - CIAW

---

Érico da Silva Dias de Oliveira Martins, Capitão de Corveta - PHM ATLÂNTICO

---

Carlos Vinicio Rodríguez Ron, D. Sc. – PUC Rio

CIAW  
Rio de Janeiro  
2020

Dedico esse trabalho aos meus pais, Sergio e Eliana, pelo incentivo e apoio e aos meus amigos pela paciência e força que dão diariamente para vencer a batalha.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por estar presente em todos os momentos difíceis, dando-me forças além dos limites para conseguir alcançar as vitórias. Aos meus pais, Sergio e Eliana, pelo permanente suporte e fonte de incentivo na minha vida. Toda a minha dedicação é para honrar tudo que fizeram e fazem por mim.

Agradeço ao meu orientador técnico, CC Érico pela disponibilidade oferecida e comprometimento demonstrado no desenvolvimento deste trabalho. Tenho certeza de que essa orientação foi decisiva para o êxito na conclusão deste trabalho.

Agradeço também ao meu orientador acadêmico, o Doutor Carlos Rodriguez pelo seu elevado profissionalismo e por todo conhecimento transmitido, o que fomentou a minha curiosidade acerca do assunto. Além disso, enfatizo toda sua dedicação em minha orientação neste trabalho e sua cordialidade, fatores que foram de extrema relevância para a minha formação profissional.

Não poderia deixar de ressaltar a importante participação do CMG (RM1-EN) Huback, que contribuiu de sobremaneira no decorrer do curso, onde demonstrou ser um profissional dedicado e comprometido com a Marinha. Ressalto, também, o ser humano companheiro e líder nato que contribuiu com as adversidades do curso tornando-se, sem dúvidas, um exemplo para os oficiais de Marinha pelo seu caráter, profissionalismo e entusiasmo na coordenação.

Aos meus amigos e colegas de curso pela compreensão, paciência e contribuição no entendimento do conteúdo apresentado e nos debates acadêmicos realizados no decorrer do curso de aperfeiçoamento.

A todos, muito obrigado por tudo!

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se: tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos.” (Paulo Beleki)

## RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE (RDS): Estudo dos benefícios e características na aplicação nos meios navais

### **Resumo**

A preocupação básica deste estudo é refletir sobre os benefícios e as características do Rádio Definido por Software (RDS) nos meios navais, tendo em vista à complexidade da tecnologia e as inúmeras possibilidades de utilização do sistema. Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de aplicação do sistema RDS a fim de consolidá-lo como uma solução viável para a interoperabilidade nas comunicações de rádio quando aplicados em meios navais. Além de comparar as soluções tecnológicas que estão em fase de pesquisa ou tecnologias já existentes e disponíveis. Respaldo pelo arcabouço legal estabelecido pela Política Nacional de Defesa, este trabalho apresentou a importância das operações conjuntas elencando com a relevância do RDS como recurso de implantação exequível. Como resultado foram apresentados benefícios como a flexibilidade, a mobilidade e a interoperabilidades. Todavia, ressaltou os cuidados necessários, principalmente em relação à área de segurança, uma vez que o sistema RDS é ligado em rede para possibilitar o atendimento aos requisitos de autenticidade, integridade e disponibilidade. Concluiu-se que o RDS é um projeto ambicioso e pode trazer vários benefícios, permitindo que o país detentor desse conhecimento possua uma posição privilegiada no cenário mundial.

**Palavras- chave:** Rádio definido por software. Interoperabilidade. Marinha do Brasil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Propagação de ondas em HF e VHF.....	16
Figura 1.2 – RDS no mundo .....	18
Figura 3.1 – Acima. Rádio transceptor Analógico; Abaixo. Rádio Transceptor Digital .....	23
Figura 3.2 – Diagrama de blocos de RDS ideal.....	25
Figura 3.3 – Diagrama de blocos de um dispositivo RDS típico.....	26
Figura 3.4 - Arquitetura simplificada de um Rádio Definido por <i>Software</i> .....	27
Figura 3.5 - Exemplo de um SDR modal.....	28
Figura 3.6 - Exemplo de um SDR reconfigurável.....	28
Figura 3.7 – Conversor heteródino.....	29
Figura 4.1 – Fluxograma da cadeia de comando do TO .....	34
Figura 4.2 – Exemplo de interoperabilidade.....	37
Figura 4.3 – Protótipo do RDS-Defesa versão Veicular.....	41
Figura 4.4 – Cenário com projetos isolados.....	42
Figura 4.5 – Cenário planejado .....	43
Figura 4.6 – Protótipo dos módulos do RDS-Defesa versão veicular sem HF.....	45
Figura 4.7 – Protótipo dos módulos do RDS-Defesa versão veicular com HF.....	45
Figura 5.1 – Exemplo de comunicações integradas utilizando o RDS.....	48
Figura 5.2 – SisGAAz em operação.....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Comparação entre DSP, FPGA e ASIC.....	32
Quadro 4.1 – Tipo de modalidade de operação.....	35
Quadro 4.2 – Módulos do RDS-Defesa versão veicular.....	45
Quadro 5.1 – Ataques e vulnerabilidades do RDS.....	50

## LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADC	<i>Analog to Digital Conversion</i>
ASIC	<i>Application Specific Integrated Circuits</i>
BE	<i>Radio Back-End</i>
C <sup>2</sup>	Comando e Controle
CASNAV	Centro de Análise de Sistemas Navais
CCDA	Controle e Conversão Digital Analógica
CFN	Corpo de Fuzileiros Navais
COMAER	Comando da Aeronáutica
COMSEC	<i>Communications Security</i>
CORBA	<i>Commum Object Request Broker Architecture</i>
COTS	<i>Commercial off the shelve</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CTEx	Centro Tecnológico do Exército
DAC	<i>Digital to Analog Conversion</i>
DSAM	Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha
DSP	<i>Digital Signal Processors</i>
EB	Exército Brasileiro
EMCFA	Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas
END	Estratégia Nacional de Defesa
EttaMiD	Estrutura Militar de Defesa
EUA	Estados Unidos da América
FA	Força Armada
FAB	Força Aérea Brasileira
FE	<i>Radio Front-End</i>

FFT	<i>Fast Furrier transform</i>
FM	<i>Frequency Modulation</i>
FPGA	<i>Field-Programable Gate Arrays</i>
GE	Guerra Eletrônica
GPP	<i>General Purpose Processor</i>
HF	<i>High Frequency</i>
IF	<i>Intermediate Frequency</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPqM	Instituto de Pesquisas da Marinha
JTRS	<i>Joint Tactical Radio System</i>
LBDN	Livro Branco de Defesa Nacional
LBR <sup>2</sup>	<i>Link BR2</i>
MA	Módulo de Alimentação
MB	Marinha do Brasil
MD	Ministério da Defesa
MDLP	<i>Multi Data Link Processor</i>
MII	Módulo de Interface e Integração
MP	Módulo de processamento
MSEG	Módulo de Segurança
OM	Organização Militar
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDTIC	Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicações
PND	Política Nacional de Defesa
RDS	Rádio Definido por <i>Software</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>

SCA	<i>Software Communication Architecture</i>
SDR	<i>Software Defined Radio</i>
SisC <sup>2</sup> FTer	Sistema do Comando e Controle da Força Terrestre
SisGAAz	Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul
SISMC <sup>2</sup>	Sistema Militar de Comando e Controle
SISNC <sup>2</sup>	Sistema Naval de Comando e Controle
SISTED	Sistema Tático de Enlace de Dados
STERNA	Sistema de Enlace Rádio Naval
TDL	<i>Tactical Data Link</i>
TIC	Tecnologia da Informação de Comunicações
TO	Teatro de Operações
TRANSEC	<i>Transmission Security</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Apresentação do Problema.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Justificativa e Relevância.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>18</b>
1.3.1 Objetivo Geral .....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>2 METODOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Classificação da Pesquisa .....</b>	<b>20</b>
2.1.1 Quanto aos Dados .....	20
2.1.2 Quanto aos Fins .....	20
2.1.3 Quanto aos Meios .....	20
<b>2.2 Limitação do método.....</b>	<b>21</b>
<b>3 A TECNOLOGIA DO RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Desenvolvimento dos rádios.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Definição do RDS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 RDS ideal.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Tipos de RDS.....</b>	<b>26</b>
3.4.1 RDS Modal .....	27
3.4.2 RDS Reconfigurável.....	28
<b>3.5 Front-end RF.....</b>	<b>28</b>
<b>3.6 ADC e DAC.....</b>	<b>29</b>
<b>3.7 Software Communication Architecture (SCA).....</b>	<b>30</b>
<b>3.8 Processadores de sinal.....</b>	<b>30</b>
3.4.1 DSP .....	30
3.4.2 FPGA.....	31
3.4.1 ASIC.....	31
<b>3.9 Análise comparativa dos Processadores de sinal.....</b>	<b>32</b>
<b>3.10 Considerações finais.....</b>	<b>32</b>

<b>4 INTEROPERABILIDADE NAS FORÇAS ARMADAS BRASILEIRAS.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Relevância das Operações Conjuntas.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Conceituação e Interoperabilidade.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 A Política Nacional de Defesa.....</b>	<b>38</b>
<b>4.4 Sistema Tático de Enlace de Dados (SISTED).....</b>	<b>39</b>
<b>4.5 Programa Interoperabilidade Técnica de Comando e Controle.....</b>	<b>40</b>
<b>4.6 Programa RDS-Defesa.....</b>	<b>43</b>
<b>4.7 Considerações finais.....</b>	<b>46</b>
<b>5 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DA ANÁLISE.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 Vantagens do RDS.....</b>	<b>47</b>
5.1.1 Controle por Software.....	47
5.1.2 Interoperabilidade.....	47
5.1.3 Mobilidade.....	48
5.1.4 Flexibilidade.....	49
5.1.4 COTS.....	49
5.1.5 Avanços tecnológicos e agregação de serviços.....	49
<b>5.2 Desvantagens do RDS.....</b>	<b>50</b>
5.2.1 Segurança .....	50
5.2.2 Uso de energia superior e maior área de circuito.....	51
5.2.3 Desempenho inferior.....	51
<b>5.3 Aplicação militar na Marinha do Brasil.....</b>	<b>52</b>
<b>5.4 Considerações finais.....</b>	<b>53</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>6.1 Considerações Finais .....</b>	<b>55</b>
<b>6.2 Sugestões para futuros trabalhos .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As telecomunicações sempre tiveram um destaque especial no que se refere a capacidade tecnológica de um país. Seus avanços ocorrem de forma rápida e promissora a todo instante, sendo que países que dominam essas inovações podem se destacar de forma ímpar no cenário mundial.

As comunicações via rádio vêm sofrendo significativas mudanças ao longo dos anos, desde Marconi esses equipamentos tiveram um papel decisivo na globalização. Atualmente, sistemas envolvidos com a transmissão ou recepção de rádio frequência, tornaram-se menores, mais rápidos, com menor custo e melhor qualidade. Cada vez mais o desenvolvimento da eletrônica, seja com tecnologias de *hardware* ou de *software*, proporciona estudos acerca desse equipamento.

O aprimoramento dessas áreas tecnológicas, principalmente na área de *softwares*, circuitos integrados programáveis e processadores de alto desempenho, proporcionaram de modo sólido a sustentação para pesquisas em Rádios Definidos por Software. Essa pesquisa promete o que operadores de rádio frequência mais almejam: um menor custo devido a flexibilidade e redução do *hardware* do equipamento.

O RDS é capaz de implementar o *hardware* de um rádio através de um *software*, ou seja, utiliza um computador ou um processador para tratar o sinal transmitido ou recebido através de um programa (*software*) ao invés de utilizar um hardware específico. Lembrando que no RDS ideal a antena seria o único hardware usado no sistema.

No meio militar os EUA, foram os primeiros a implementar o RDS, no intuito de fornecer rádios flexíveis para operações de grande escala (Dillinger et al. 2003). O objetivo era garantir a interoperabilidade dos rádios militares com o de outras agências governamentais tais como bombeiros, polícia e agências de inteligência. Tal necessidade vem da justificativa de padronizar os enlaces e possibilitar ações conjuntas que podem promover sinergia, com a diminuição de custos e a integração dos sistemas, fortalecendo, assim o seu poder de atuação em um campo de batalha moderno.

Este trabalho busca apresentar os benefícios e as características dos sistemas que utilizam RDS, tanto os sistemas que encontram-se em fase de pesquisa quanto os já existentes. Nesse contexto, , será exposta a necessidade da posse dessa tecnologia, bem como justificar a adoção desse sistema nos meios navais, bem como enfatizar os benefícios e os riscos existentes.

Além disso, este estudo irá contemplar as ações em relação à implementação desta tecnologia e como a mesma está sendo abordada pelo governo brasileiro.

No capítulo 1, o assunto será introduzido e o problema exposto, trazendo, assim a justificativa para este estudo. No capítulo 2, será apresentada a metodologia para se alcançar os objetivos e as limitações do tema. No capítulo 3, será exposto todo o funcionamento do RDS bem como suas características como sistema. No capítulo 4, haverá uma abordagem mais militarizada no principal objetivo e justificativa para o desenvolvimento do RDS no meio militar que é a interoperabilidade. Já no capítulo 5, os resultados da pesquisa serão expostos, focando nos principais benefícios e riscos da tecnologia. E por último, teremos a conclusão no capítulo 6.

## 1.1 Apresentação do Problema

O problema em análise é a viabilidade de aplicação de um sistema de comunicação mais seguro e que seja capaz de fornecer interoperabilidade, flexibilidade e mobilidade aos transceptores. Nesse contexto, faz-se essencial analisar o grande potencial da aplicação do RDS nas comunicações militares.

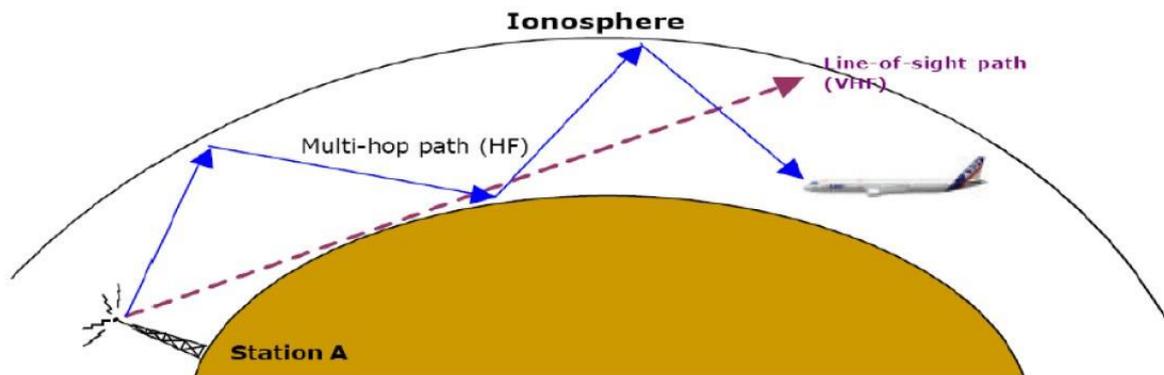
Nas comunicações entre as forças armadas é necessário possuir vários equipamentos de rádio para assegurar a eficácia das comunicações entre os meios operativos. Essa afirmação se consolida pelas frequências que devem ser guarnecidas de acordo com o meio que está sendo utilizado.

Segundo Azzolin (2018), o espectro eletromagnético constitui uma grande fonte de informação de inteligência, o mesmo pode ser explorado através de equipamentos de rádio frequência, em especial os rádios definidos por software.

O controle do espectro de frequência é essencial em situações de conflito, como em uma guerra ou um ataque cibernético, porém, para que isso ocorra, vários fatores devem ser considerados, como por exemplo, o método de propagação. Em Rocha (2011, p. 18), é citado que ondas eletromagnéticas na faixa de *Very High Frequency* (VHF) e superiores propagam-se em linha reta e, por esta razão, são chamadas de ondas diretas. Com isso, ondas nessa faixa de frequência possuem seu alcance limitado ao horizonte visual, conforme demonstrado na Figura 1.1. Já as frequências inferiores a 3 MHz, propagam-se acompanhando a curvatura da terra e por isso, são chamadas de ondas superficiais ou terrestres. As ondas na faixa de *High Frequency*

(HF) são refletidas pelas camadas ionizadas da atmosfera e são chamadas de ondas ionosféricas, conseguindo assim, chegar a distâncias maiores.

**Figura 1.1 – Propagação de ondas em HF e VHF**



Fonte: Nicolau (2009)

Para desenvolver a capacidade de dominar o espectro eletromagnético nas comunicações, é necessária a disponibilidade de meios de comunicações capazes de realizar a transmissão segura, seja em voz, imagem, vídeo, dados ou mensagens. Os meios precisam operar em diversas faixas de frequências, como as de HF, VHF e UHF. Assim serão capazes de estabelecer enlaces de rádio em operações conjuntas de forma satisfatória e ainda poderão operar em diversos cenários de comunicações. Através do Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicações (PDTIC-MB-2017-2020), a Marinha frisa a necessidade de se investir no RDS e o coloca como prioridade para combater riscos e favorecer oportunidades.

## 1.2 Justificativa e Relevância

O pensamento político e estratégico das Forças Armadas do Brasil está expresso em diversos documentos, tais como a Estratégia Nacional de Defesa e o Livro Branco de Defesa Nacional. Neles, as evidências da necessidade do provimento de meios de comunicações táticas sofisticadas são ressaltadas. As comunicações são cruciais em qualquer meio operativo.

A versatilidade de equipamentos eletrônicos permite a interoperabilidade e a redução de custos de operação. O RDS promove a independência entre o hardware e o software nos sistemas, sendo assim, capaz de fornecer interoperabilidade, portabilidade de formas de onda, possibilidade de acompanhar avanços tecnológicos e agregar serviços, sem a necessidade

de substituição de hardware. Dessa forma, é importante elaborar um estudo dos benefícios e das características na aplicação desse sistema nos meios navais.

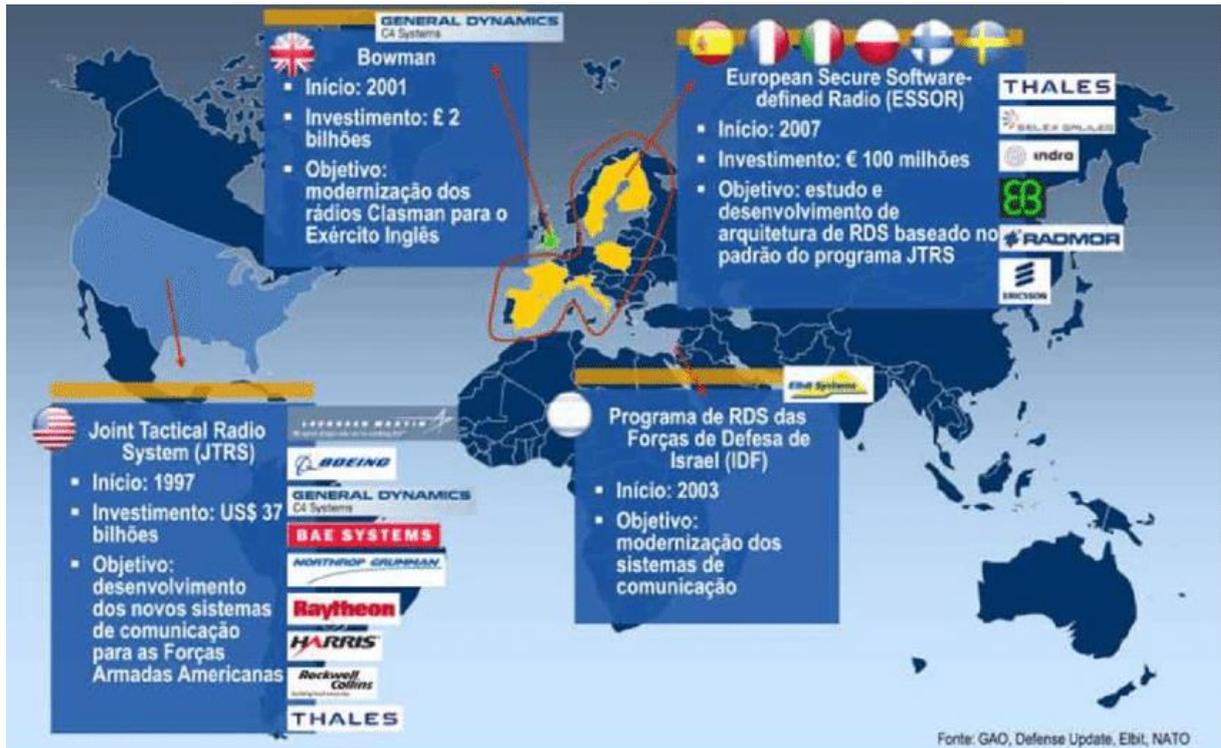
Faz-se essencial analisar o grande potencial da aplicação do RDS nas comunicações militares. O desenvolvimento desta tecnologia, que está sendo promovida pelo Ministério da Defesa (MD) sob a coordenação do Exército Brasileiro (EB), que conta com a participação de Instituições de Ciência e Tecnologia das três Forças Armadas e empresas civis de âmbito estratégico na defesa nacional, contribuindo para o fortalecimento da Base Industrial de Defesa do País na área de telecomunicações, além de colocar o Brasil dentro de um seleto grupo de países que detém o conhecimento dessa tecnologia.

Diversas são as vantagens do uso do RDS:

- a) Permitir maior capacidade de proteção eletrônica (interoperabilidade);
- b) Redução dos custos de desenvolvimento e implantação de soluções;
- c) Possibilita tornar o sistema adaptivo;
- d) Fortalece as Ações de Guerra Eletrônica; e
- e) Facilita a modernização dos meios de comunicação sem grandes mudanças de hardware.

O incentivo ao desenvolvimento do RDS tem sido fortemente ampliado no mundo todo, principalmente pelas forças militares. Identificada a grande importância do sistema, alguns países iniciaram suas pesquisas há bastante tempo. Atualmente países como Brasil, Turquia, Israel, Emirados Árabes, Índia e Indonésia são considerados entrantes nesse projeto segundo dados do *Wireless Innovation Forum* (EUA, março de 2016). A Figura 1.2 mostra os países que aderiram ao RDS e expõe seus investimentos e objetivos com o projeto.

**Figura 1.2 – RDS no mundo**



Fonte: GAO, Defense Update. Ebit, NATO

## 1.3 Objetivos

A fim de orientar a resposta ao problema apresentado e para facilitar a compreensão de problemas pontuais ou intermediários, será utilizado o seguinte objetivo geral e os seguintes objetivos específicos nessa monografia.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar um estudo do RDS como uma solução viável para a interoperabilidade nas comunicações de rádio quando aplicados em meios navais. Além de analisar as soluções tecnológicas em fase de pesquisa ou tecnologias já existentes e disponíveis.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Na intenção de alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos serão buscados:

- a) Estudar e expor o funcionamento geral do RDS que servirá como prova de conceito;
- b) Revisar a literatura sobre Ações de Guerra Eletrônica com o intuito de fundamentar a necessidade do RDS;
- c) Coletar dados do que já foi desenvolvido nesta tecnologia no Brasil, principalmente, no âmbito das Forças Armadas; e
- d) Verificar e apresentar os benefícios na aplicação do RDS nos Meios Navais, visando à interoperabilidade, à flexibilidade e à segurança nas comunicações.

Após o desenvolvimento desses tópicos poderemos subsidiar os conceitos e as possibilidades de aplicação do RDS nos meios navais da Marinha do Brasil.

## **2. METODOLOGIA**

Segundo Kauark, Manhães e Medeiros (2010), a metodologia científica é um conjunto de pressupostos que permitirão a elaboração e apresentação de um trabalho de pesquisa, tendo como objetivos a eficácia deste trabalho bem como de seus resultados, proporcionando um padrão reconhecível por outros pesquisadores e pelo público em geral.

Neste capítulo, será exposta a metodologia usada na proposta do estudo, bem como a forma e tratamento dos dados. Também será apresentado as limitações do assunto e suas classificações relacionadas ao tipo de pesquisa.

### **2.1 Classificação da Pesquisa**

Uma pesquisa científica pode ser entendida como um processo metódico de investigação, o qual recorre a procedimentos científicos para encontrar respostas para um problema. Nesse caso, é obrigatório avaliar se o problema apresenta interesse para a comunidade científica e se constitui um trabalho que irá produzir resultados novos e relevantes para o interesse social. Nesse contexto, essa pesquisa foi classificada quanto aos dados, quanto aos fins e quanto aos meios.

#### **2.1.1 Quanto aos dados**

A pesquisa utilizará conceitos qualitativos, uma vez que as informações nela apresentadas envolvem um uso de referências que serão extraídas de documentos da Marinha do Brasil (MB) e Exército Brasileiro (EB), dissertações, teses e artigos. Além de entrevistas com pesquisadores e especialistas da área.

#### **2.1.2 Quanto aos fins**

A pesquisa será explicativa já que justificará a viabilidade de se usar a tecnologia RDS nos meios navais na MB. Será ainda do tipo aplicada, pois utilizará conceitos já consolidados no âmbito militar para resolver um problema autêntico e atual da MB.

#### **2.1.3 Quanto aos meios**

A pesquisa será classificada como de campo, pela busca de informações junto aos integrantes do Exército e da Marinha do Brasil através de entrevistas e visitas. Terá também um caráter documental, já que serão utilizadas bibliografias encontradas no âmbito das forças armadas. Além dessas publicações, também serão usadas literaturas gerais que tratam sobre conceitos de Rádio Definido por Software, caracterizando uma revisão bibliográfica.

## **2.2 Limitações do método**

Esta pesquisa foi baseada em documentos de uso restrito das Forças Armadas, sendo baseado em quase toda sua plenitude nesse tipo de fomentador de dados. Este fato cria uma desvantagem tendo em vista que elas não passaram por um crivo mais aprofundado da comunidade científica em geral. Além disso, devido a Estratégia Política Nacional pode haver tópicos superficiais, pois grande parte do assunto abordado é considerado material confidencial ou restrito, o que limita o acesso a algumas informações úteis. O RDS é um projeto ambicioso e envolve um grande avanço tecnológico para o país que detém esse conhecimento, portanto grande parte do material encontrado no meio civil dá ênfase ao uso comercial.

### 3 A TECNOLOGIA DO RÁDIO DEFINIDO POR *SOFTWARE*

Neste capítulo será apresentado o conceito da tecnologia de Rádio Definido por Software (RDS) ou *Software Defined Radio (SDR)* e será realizada uma abordagem apresentando as características de hardware, software e de funcionamento do equipamento de rádio. Além disso, as características serão expostas neste trabalho, com foco nos benefícios e desvantagens na utilização deste tipo rádio.

#### 3.1 Desenvolvimento dos rádios

A evolução da eletrônica trouxe um forte crescimento de inovações de equipamentos. Recursos de hardwares e softwares sofreram avanços significativos no setor de desenvolvimento de rádios transceptores.

No passado, era comum a evolução dos rádios com o foco na arquitetura de hardware. A criação do transceptor super-heteródino foi o principal fator para o sucesso do rádio FM e da primeira geração de telefones móveis. Neste transceptor, o sinal proveniente da antena é convertido para uma frequência intermediária (*Intermediate Frequency - IF*), depois é filtrada, decimada para banda base, e finalmente demodulada. Essa característica permitia receber diferentes frequências com o mesmo *hardware*.

Nos anos 80, houve o desenvolvimento do transceptores digitais de rápido processamento, que foram desencadeados devido a difusão dos tipos de processadores *Digital Signal Processors (DSP)* (Dominguez, 2011). Após essa difusão, houve uma divisão do rádio em duas partes que consistia na *Radio Front-End (FE)* e na *Radio Back-End (BE)*.

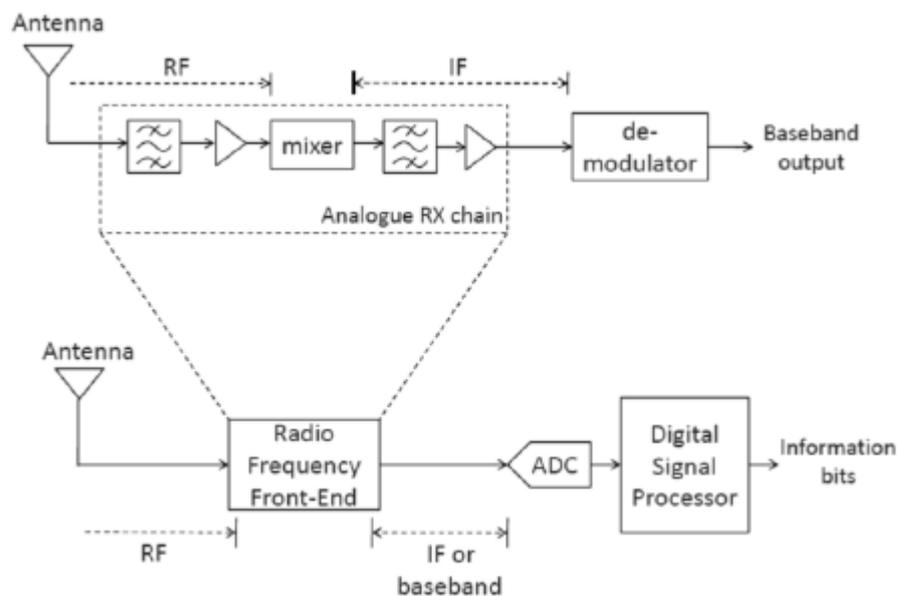
A seção *Radio Front-End (FE)* tem o propósito de decimar a frequência de banda estreita (*narrowband frequency*) e em seguida deverá ocorrer a digitalização pelo ADC (*Analog to Digital Conversion*), ou seja, é responsável por cuidar do recebimento e transmissão das frequências de rádio. Já a seção *Radio Back-End (BE)* é responsável pelas etapas restantes do processamento do sinal que consiste, no domínio digital, em modulação, demodulação, filtragem, codificação, etc. (Abbas, 2008)

A partir desses verossímeis avanços tecnológicos, foi visto a possibilidade de atualizar e melhorar os rádios transceptores, fato este que proporcionou a difusão do uso *software* para a arquitetura de transceptores e assim a concepção de Rádio SDR (*Software Defined Radio* ou Rádio Definido por Software).

Segundo Dominguez (2011) nesses sistemas, o processamento do sinal é executado ou gerenciado via software utilizando os dispositivos *Field-Programmable Gate Arrays* (FPGA), *General Purpose Processor* (GPP), ou algum outro dispositivo programável. Desta forma, ao utilizar RDS, os conceitos de processamento digital de sinais, no domínio do software, tentam ser aplicado tão perto quanto seja possível da interface RF, garantindo uma alta flexibilidade da tecnologia.

Esses conceitos podem ser observados na Figura 3.1 (Valério, 2008) que mostra uma arquitetura geral dos rádios transceptores analógicos e digitais.

**Figura 3.1 - Acima. Rádio transceptor Analógico; Abaixo. Rádio Transceptor Digital**



Fonte: Valério (2008)

### 3.2 Definição de RDS

O rádio definido por *Software* é conceituado por vários autores como um rádio onde o processamento do sinal é feito através de um *software*, que substitui um bloco ou conjunto de blocos em hardware, capaz de ser executado em um processador ou computador. Ele possibilita controlar técnicas de modulação, formas de onda e funções de segurança. Além de permitir atualização e flexibilidade em diversas aplicações sem a necessidade de mudar o *hardware*, pois os problemas de hardware passam a ser problemas de *software*.

Também é considerado um rádio definido por *software*, um dispositivo cuja modulação de formas de onda do canal é definida em *software*. Isto significa que os formatos das ondas geradas são como sinais digitais amostrados, posteriormente essas ondas são convertidas (digitais em analógicas) através de um conversor digital analógico (DAC) de banda larga, que captura todos os canais do nó do RDS. O receptor, por sua vez, captura o sinal, faz um abaixamento de frequência e demodula a forma de onda do canal, por meio de um *software* que roda em um processador de uso geral. (Mitola, 2000)

Hoje, a maioria dos rádios se utiliza de *software* em sua concepção, portanto, não podemos confundir o conceito de rádio definido por *software* com rádios baseados ou controlados por *software*. Estes rádios baseados ou controlados por *software* necessitam de ajustes no *hardware* para qualquer mudança em interfaces baseadas em *software* (Tuttlebee, 2002). Sendo assim, o *software* é só uma interface para ajustes no próprio *hardware*. Já um RDS ideal deve ter todo o processamento de sinal feito através de *software*, exceto a digitalização do sinal que deve ser feita logo após a captação feita pela antena.

De forma mais concisa, Aslan (2017) afirma que um rádio definido por *software* é uma plataforma genérica e flexível, capaz de operar sobre diferentes larguras de bandas e sobre uma larga faixa de frequência, usando diferentes tipos de modulação e formatos de onda. Ela fornece a flexibilidade de rádio necessária a diversas aplicações, sem a necessidade de reconfiguração em *hardware*, suportando diversos padrões e tecnologias de acesso.

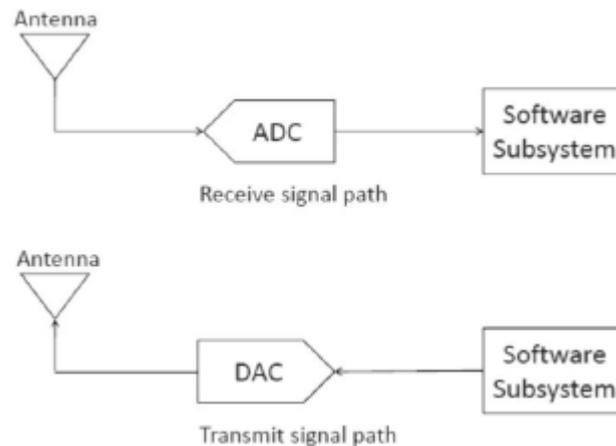
Esta tecnologia é interessante e atrativa, pois ela é capaz de transformar desafios associados ao hardware em desafios associados ao software. O seu principal objetivo está focado em diminuir o processamento em *hardware*, digitalizando o sinal o mais próximo possível da antena. Idealmente, um RDS deve ter somente os conversores digital-analógico e analógico-digital entre o processador, onde é executado o software, e a antena, a qual deve ser uma antena inteligente para acompanhar a reconfigurabilidade do software. (Janson, 2012)

### **3.3 RDS ideal**

Idealmente, um RDS consiste em três principais blocos na recepção e na transmissão que unidos no caso do transceptor. O primeiro bloco consiste nas antenas, normalmente antenas inteligentes que se ajustam de forma dinâmica ao meio de acordo com os requisitos do sistema, esse bloco não é possível ser transformado em *software*. O segundo bloco é composto por um ADC (conversor analógico-digital) utilizado na recepção do sinal e um

DAC (conversor digital-analógico) utilizado na transmissão do sinal. Já o bloco 3 é composto de um subsistema definido por *software*, o qual é responsável pelo processamento do sinal. A Figura 3.2 abaixo ilustrada, mostra o diagrama do RDS ideal.

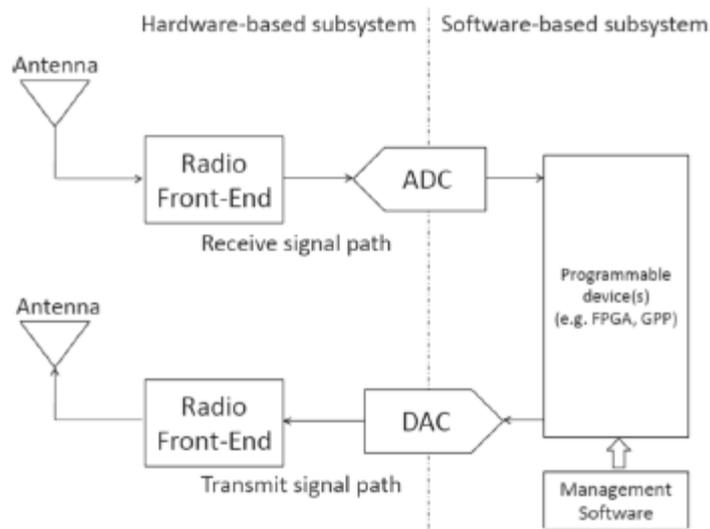
**Figura 3.2 – Diagrama de blocos de RDS ideal**



**Fonte: Arnez (2019)**

Na prática, segundo Arnez (2019), os dispositivos ADC e DAC não possuem velocidade de processamento suficiente para uma larga faixa do espectro de frequência e as antenas são projetadas para bandas específicas. Assim, o subsistema definido por *hardware* do RDS ideal seleciona uma faixa do espectro e o converte para uma frequência intermediária antes da digitalização que é chamado de *Radio Front-End*. O subsistema definido por software é responsável por proceder a demodulação, onde o sinal de banda larga é recebido e  $\theta$  enviado para o conjunto de decimadores digitais para isolar a frequência da portadora requerida. Esse subsistema pode ser composto por uma combinação de dispositivos programáveis com o intuito de transferir os dados de forma mais rápida. Na Figura 3.3 é apresentado um dispositivo RDS típico.

**Figura 3.3 – Diagrama de blocos de um dispositivo RDS típico**



Fonte: Valerio (2008)

Segundo Barros (2007), um RDS ideal busca três características principais:

- Reconfigurabilidade:** capacidade de alterar o funcionamento do rádio. Esta é uma característica promissora, pois a ideia de reconfigurar um rádio à distância, sem intervenção física é justamente a promessa do conceito de RDS.
- Flexibilidade:** aceitar a reconfiguração aplicada sem mudanças na arquitetura do rádio.
- Modularidade:** as partes que definem o sistema são executadas em módulos distintos. Na necessidade de modificações ou atualizações, essa característica implica na alta flexibilidade do sistema, pois essas alterações não afetarão o sistema do RDS.

Mesmo que um rádio ideal controlado digitalmente não possa ser concebível, devido a limitações de emprego em algumas bandas de frequências, existem arquiteturas para transceptores de rádio controlados por *software* que são perfeitamente factíveis e ainda são capazes de prover as principais vantagens, como por exemplo flexibilidade e modularidade. Essas arquiteturas são comumente referenciadas como transceptores de rádio flexíveis.

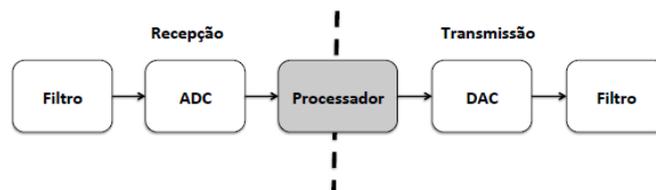
### 3.4 Tipos de RDS

Conforme Nagurney (2009), existem duas principais arquiteturas para implementar a tecnologia RDS. Uma consiste em colocar vários *chipsets* que implementam padrões de comunicação em um mesmo rádio porém com pouca flexibilidade e, caso necessário,

alternando-se. A outra consiste em configurações de hardware especializados que são mais eficazes quanto a flexibilidade porém apresentam outras desvantagens. As duas principais arquiteturas utilizadas na prática são chamadas de RDS Modal e RDS Reconfigurável.

Nagurney (2009) diz que os filtros de frequência são componentes que devem ser implementados em *hardware*, enquanto todas as outras operações do transceptor poderiam ser realizadas por unidades de processamento programáveis. A unidade de processamento pode empregar CPUs de propósito geral, processadores de sinais (DSP), FPGAs, ou até mesmo lógica discreta. Em muitas aplicações, o sinal de banda base (*baseband*), em si, é digital, permitindo que os ADCs e DACs, bem como seus filtros associados, possam ser eliminados e os sinais digitais sejam alimentados diretamente para a unidade de processamento.

**Figura 3.4 - Arquitetura simplificada de um Rádio Definido por *Software*.**

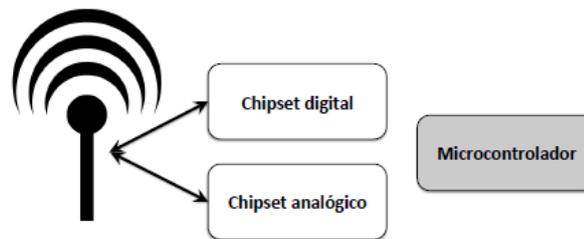


**Fonte: Nagurney (2009).**

### 3.4.1 RDS Modal

O RDS Modal funciona como um rádio com “n” implementações, que são revessadas conforme a demanda. Surgiu quando as tecnologias celulares analógicas foram substituídas por redes digitais, então existia a necessidade de que telefones fossem capazes de oferecer serviços digitais em áreas sem este tipo de cobertura. Sendo assim, esses telefones deveriam ser capazes de suportar o modo analógico em áreas desprovidas de cobertura digital. Segundo Nagurney (2009), a solução era combinar os *chipsets* analógicos e digitais no interior do aparelho, com *softwares* realizando o chaveamento entre eles.

**Figura 3.5 - Exemplo de um SDR modal.**

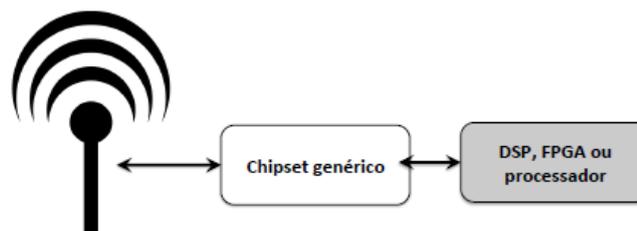


Fonte: Nagurney (2009).

### 3.4.2 RDS Reconfigurável

Uma vez que o SDR Modal não suportava a quantidade de formas de onda necessárias, foram utilizados *hardwares* programáveis para executar o processamento dos sinais. Nessa situação, o *hardware* pode suportar uma quantidade ilimitada de padrões e técnicas de transmissão. Essa dinâmica permite que o hardware possa ser configurado em qualquer aplicação, assim sendo denominada de SDR reconfigurável. O dispositivo programável (DSP, FPGA ou processador) tem a capacidade de proceder operações de processamento de sinais em alta velocidade. Na figura 3.6 é mostrado um SDR reconfigurável onde é formado por um bloco de *hardware* e outro de *software* na cor cinza.

Figura 3.6 - Exemplo de um SDR reconfigurável.



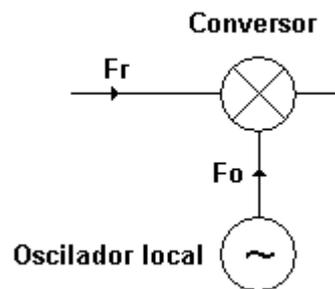
Fonte: Nagurney (2009).

## 3.5 Front-end RF

Idealmente, o Radio definido por *software* é capaz de transmitir em qualquer faixa de frequência, além possuir inúmeros benefícios de reconfigurabilidade. Todavia devido as restrições, principalmente dos conversores AD e DA, o módulo *Front-end* assegura a recepção e a transmissão de certas faixas de frequência.

Os rádios convencionais utilizam do princípio da heterodinagem para efetuar a captação de certas frequências para não precisar substituir o restante do circuito. Eles misturam essa frequência de recepção com a frequência do oscilador local e geram uma frequência intermediária a qual estará de forma apropriada para o processamento do restante do circuito. A figura 3.7 mostra esse funcionamento.

**Figura 3.7 – Conversor heteródino**



**Fonte: elaboração própria**

Segundo Isomaki (2004), em um RDS, o módulo *front-end* RF é responsável por efetuar a transformação da frequência de recepção na frequência intermediária, e ainda, amplificar o sinal, realizar filtragens bem como efetuar o controle do ganho. Dessa forma preparando o sinal para entrar nos conversores de sinais. Na transmissão, o *front-end* efetua a transformação das frequências de forma inversa e realiza filtragens de interferências e amplifica a potência.

### 3.6 ADC e DAC

Um conversor analógico-digital (ADC) transforma um sinal analógico, contínuo no tempo, em um sinal amostrado, discreto no tempo e quantizado de um número finito de valores inteiros, já o conversor digital-analógico (DAC) faz o procedimento contrário ao ADC. Esses conversores podem possuir desempenho fraco para algumas aplicações que requeiram uma alta resolução.

Segundo Isomaki (2004), os conversores digital-analógico e analógico-digital são o maior ponto crítico na arquitetura de um RDS. Pois exigem conversores com elevada taxa de amostragem e largura de banda na ordem de GHz. Apesar de serem limitadores, não são um problema para o RDS. Pelo contrário, seus avanços tecnológicos que proporcionaram o

processamento digital de sinais e assim o advento do RDS, que é capaz de processar em software, sinais de rádio frequência.

### **3.7 Software Communication Architecture (SCA)**

Conforme Kenington (2005), existe uma grande variedade de arquiteturas disponíveis em hardware e software para o RDS. Esse fato pode ocasionar na incompatibilidade de sistemas. Para mitigar esse imbróglio, o Departamento de Defesa dos EUA, através do programa JTRS (*Joint Tactical Radio System*), criou o padrão SCA, que é uma infraestrutura de software aberta, voltada para o desenvolvimento dessa tecnologia.

Segundo Galdino (2017), o padrão especifica os mecanismos para criar, implantar, gerenciar e interconectar aplicações rádio, baseadas em componentes, em plataformas distribuídas. A proposta do SCA é aumentar a interoperabilidade de comunicação de sistemas rádio, por esse motivo é a arquitetura mais usada no meio militar.

O SCA utiliza o *middleware* CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) que automatiza grande parte das funções e garante a independência entre *hardware* e *software*. Além do SCA, outras arquiteturas já foram desenvolvidas, todavia conhecer o SCA já é suficiente para o escopo desse estudo.

### **3.8 Processadores de sinal**

Kenington (2005), afirma que os dispositivos que efetuam o processamento dos sinais são os maiores limitadores do RDS. Ele ainda ressalta a importância da escolha do *hardware* a ser usado, devido ao fato das possibilidades existentes possuem características distintas que devem ser levadas em consideração no projeto.

Segundo Lima (2006) existem algumas opções desses dispositivos de processamento no mercado, sendo os processadores digitais de sinais (DSP), os conjuntos de portas lógicas programáveis em campo (FPGA) e os circuitos integrados de aplicações específicas (ASIC) os mais usuais nas comunicações móveis. Neste trabalho serão abordados adiante.

#### **3.8.1 DSP**

Segundo Tuttlebee (2002), o DSP (*Digital Signal Processor*) é um microprocessador criado para executar funções de processamento digital em tempo real. Além disso, são dispositivos que possuem uma arquitetura específica capaz de executar instruções e realizar operações complicadas, como convoluções ou FFT.

Os DSPs apresentam sua arquitetura com a memória de dados separada da memória de programas, não apresentam suporte a multitarefas e quase sempre contam com conversores AD e DA para o processamento de sinais analógicos. Sua reconfiguração ocorre em *software*, o que dificulta a otimização de *hardware* por parte do projetista mas favorece mudanças mediante a instalação de um programa. Como são amplamente usados até mesmo fora do setor de comunicações, seu custo pode ser baixo devido a produção em grande escala.

### 3.8.2 FPGA

Segundo Tuttlebee (2002), um FPGA (*Field Programmable Gate Array*) é um dispositivo lógico programável projetado para ser configurado por um consumidor ou projetista após a fabricação. Ele é formado por blocos configuráveis estruturados basicamente por portas lógicas e flip-flops. Cada bloco forma uma pequena tabela *look-up* de saídas reprogramáveis com os valores recebidos na entrada.

Ao contrário do DSP, o FPGA utiliza a reconfigurabilidade em *hardware*, por meio da arquitetura do componente. Isso o torna atrativo ao RDS, pois, devido ao melhor desempenho, seria interessante para o processamento de dados em *hardware* e ainda manteria o sistema flexível.

### 3.8.3 ASIC

O ASIC (*Application Specific Integrated Circuits*) são circuitos integrados de aplicação específica, sendo orientados para implementação de tarefas específicas em domínios bem definidos. Isomaki (2004) diz ainda que a principal vantagem desse dispositivo está na velocidade de processamento. Todavia, sua maior desvantagem está ligada a flexibilidade e reconfigurabilidade. Esse dispositivo executa tarefas fixas, assim obriga ter um chip para cada tarefa, entretanto por essa característica acaba tendo seu custo reduzido. Normalmente é utilizado em projetos que requerem alto desempenho e baixo custo mas com restrições de funções.

### 3.9 Análise comparativa dos Processadores de sinal

Com intuito de facilitar a comparação dos dispositivos, Barros (2007) criou o quadro 3.1 para relacioná-los com foco na característica de reconfigurabilidade e desempenho. Dessa forma, facilitando a escolha do dispositivo de acordo com o que se almeja no projeto.

**Quadro 3.1 – Comparação entre DSP, FPGA e ASIC**

<b>Característica</b>	<b>DSP</b>	<b>FPGA</b>	<b>ASIC</b>
Frequência de operação (MHz)	100-600	100-300	>1000
Consumo de energia	Muito alta	Alto	Moderado
Execução paralela	Serial	Máxima (flexível)	Máxima
Complexidade do projeto	Programas complexos	Muito alta	Muito alta
Tamanho	Moderado	Muito grande	Grande
Evolução	Alta	Alta	Sem
Customização	Muito fácil	Fácil	Difícil
Verificação do projeto	Moderada	Moderada	Muito Difícil
Ferramentas para o projeto	Bom	Muito bom	Bom

Fonte: Barros (2007)

### 3.10 Considerações finais

A filosofia de um RDS é implementar o *hardware* de um rádio através de *software*, ou seja, o RDS permite processar o sinal transmitido ou capturado através de um programa que será executado dentro de um processador ou um computador. Este sistema possibilita a independência entre *software* e *hardware*, assim, é capaz de acompanhar os avanços tecnológicos no setor de comunicações por rádio sem a necessidade de substituição de *hardware*.

## 4 INTEROPERABILIDADE NAS FORÇAS ARMADAS

Neste capítulo será apresentado a importância da interoperabilidade nas Forças Armadas no ambiente operacional moderno. Também será realizada uma abordagem apresentando como este tema está sendo tratado pelas Forças Armadas Brasileiras, mostrando os esforços que estão sendo realizados e a relevância do RDS na garantia da interoperabilidade.

### 4.1 Relevância das Operações Conjuntas

No passado, uma Força Armada (FA) era capaz de vencer um conflito de guerra devido a simplicidade do combate. A liderança do chefe, a diferença de efetivos, o emprego da massa e a bravura pessoal eram fatores cruciais para o sucesso já a coordenação de elementos de natureza e de organizações diferentes ficavam em segundo plano.

Conforme exposto na publicação Doutrina de Operações conjuntas MD30-M-01, o estudo das últimas guerras e conflitos mostra, de forma insofismável, que, apesar de bem sucedidas ações isoladas de Forças Armadas, as grandes vitórias foram alcançadas por meio de ações adequadamente integradas de forças navais, terrestres e aéreas.

“Operações e atividades são caracterizadas como ‘conjuntas’ quando são realizadas por uma força composta de elementos significantes, designados ou anexados, a dois ou mais departamentos militares operando sob um único Comandante da Força Conjunta” (UNITED STATES, 2017, p. 41, tradução nossa) <sup>1</sup>.

Dessa forma, uma integração organizada e construída de forma adequada é imprescindível para o triunfo das FA em um conflito. O sucesso depende da confiança e da segurança, bem como do compartilhamento de informações, tanto nas operações conjuntas como nos outros tipos, na combinada e na interagir.

O Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas (EMCFA) foi criado em 2010 frente ao reconhecimento da necessidade de institucionalização da convergência das ações das Forças Singulares, sendo a interoperabilidade a base do planejamento das ações (BRASIL, 2017). A instituição tinha o pressuposto de executar o planejamento do emprego conjunto das forças, auxiliando o Ministro da Defesa no que concerne aos aspectos conjuntos das missões militares. Dessa forma, “a instituição foi criada para gerir a interoperabilidade entre as forças singulares,

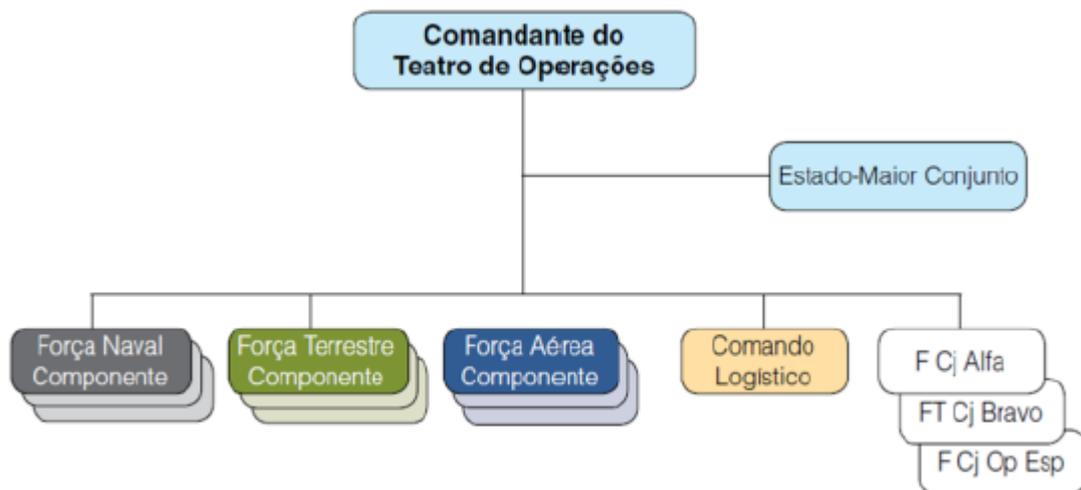
---

<sup>1</sup> “Operations and activities are characterized as “joint” when they are conducted by a force composed of significant elements, assigned or attached, of two or more Military Departments operating under a single JFC” (UNITED STATES, 2017, p. 41).

coordenando operações conjuntas e assessorando o Ministro da Defesa em exercício. (PESSOA, 2017, p. 314).

Portanto, acredita-se que para alcançar a vitória de uma causa ou um propósito comum nas ações militares, conservar uma unidade de esforço é primordial. Essa unidade de Forças militares deve coordenar suas atividades e realizar ações com objetivos únicos. Esse requisito requer um conhecimento mútuo das forças empregadas e dos procedimentos e planejamentos. Para tal coordenação, no Brasil, existe o Comandante do Teatro de Operações como mostrado na Figura 4.1 abaixo. (BRASIL MD30-M-01, 2017)

**Figura 4.1 – Fluxograma da cadeia de comando do TO**



**Fonte: (BRASIL MD30-M-01, 2017)**

Segundo Brasil (2017), o Comando do Teatro de Operações sincroniza as ações das Forças Componentes, visando alcançar os objetivos estratégicos e operacionais. A meta é obter a eficácia por intermédio da sinergia dos diversos meios no Teatro de Operações (TO). Afirma ainda que coexistem no TO, várias Forças Componentes que compartilham os ambientes marítimo, terrestre e aéreo de modo coordenado a fim de cumprir determinada missão. A meta é obter a eficácia por intermédio da sinergia de diferentes meios.

## 4.2 Conceituação e Interoperabilidade

As modalidades de operações são classificadas de acordo com algumas peculiaridades, a fim de tornar a compreensão dos conceitos, bem como a sua demanda e o que

se espera delas, mais fácil foi criado o quadro abaixo. O quadro 4.1 sintetiza de forma geral e resumida o que cada modalidade abordada se caracteriza para a idealização dela.

**Quadro 4.1 – Tipo de modalidade de operação**

	<b>Conjunta</b>	<b>Combinada</b>	<b>Interagência</b>
<b>O que é:</b>	Capacidade de articulação e atuação conjunta entre forças singulares de um mesmo país em operações militares.	Uso de forças multinacionais, bem como das forças singulares pertencentes às diferentes nações envolvidas, empregado em prol de um objetivo comum.	Articulações entre diferentes instâncias de um governo, buscando conciliar da melhor forma as capacidades particulares a cada uma delas.
<b>O que demanda:</b>	Necessidade de confiança, interdependência de força conjunta, treinamentos conjuntos e interoperabilidade.	Importância da interoperabilidade, de operações conjuntas expedicionárias, do entendimento mútuo, e da criação de padrões entre as doutrinas.	Grande relevância de um planejamento; transparência; igualdade; sistema anti-corrupção; e consenso. Interoperabilidade.
<b>O que se espera alcançar:</b>	Redução de gastos; maximização das capacidades individuais; aumento da cooperação operacional; efetividade.	Agilidade, otimização da distância e do tempo, mobilidade, repartição de ônus, maior resistência. Atingir o objetivo proposto.	Convergência de diferentes capacidades e talentos; redução de recursos; maior possibilidade de se alcançar o objetivo e da missão ser efetiva.

**Fonte: Freire (2018)**

Sloan (2008) explica que operações conjuntas em um Teatro de Operações ocorre quando tem a intenção de se referir à capacidade de forças distintas, como o Exército, a Marinha, e a Força Aérea de um mesmo país de se articularem e atuarem em consonância nas operações militares. Dessa forma, a ação deixa de depender de um único serviço e passa a ser planejada em conjunção, de tal forma que a confiança entre as forças surge como elemento de suma importância.

Sloan (2008) ainda ressalta a importância das operações conjuntas afirmando que “A tendência de aprimorar a efetividade das ações militares é a razão principal para as Forças Armadas fazerem uso das operações conjuntas”.

Em resumo, a manutenção da interoperabilidade na gestão das operações conjuntas é um objetivo perseguido por governos de muitos países, inclusive o Brasil, como descrito na Estratégia Nacional de Defesa. Esse objetivo é fundamentado na necessidade das Forças Armadas possuírem a capacidade de operação em rede integrada e com a proteção devida dos requisitos de segurança. Por isso, os investimentos em sistema de comunicações digitais capazes de impulsionar a interoperabilidade, não só nas Forças Armadas, mas em todos os órgãos de segurança e Forças Auxiliares, vem aumentando significativamente.

Segundo Santos (2009), a habilidade de concentrar forças ou unidades distintas de forma eficiente, o qual destaca o princípio da interoperabilidade, surgiu no meio militar inicialmente na Organização do Tratado do Atlântico do Norte. Nessa situação foi vista a necessidade de unir forças militares, por meio de acordos ou compromissos, tornando possível o desenvolvimento de novas capacidades e a majoração da efetividade na ação militar. Nesse contexto, a interoperabilidade tornou-se um requisito crucial para os países aliados. Sendo citada a importância das quatro principais capacidades necessárias para efetividade deste requisito.

(...) Foram definidos quatro grandes objetivos/capacidades, que servirão de guia para o desenvolvimento e aplicação dos requisitos de interoperabilidade: (1) capacidade para comunicar, (2) capacidade para operar; (3) capacidade para apoiar; e (4) treinar e realizar exercícios conjuntos (SANTOS, 2009, p. 10).

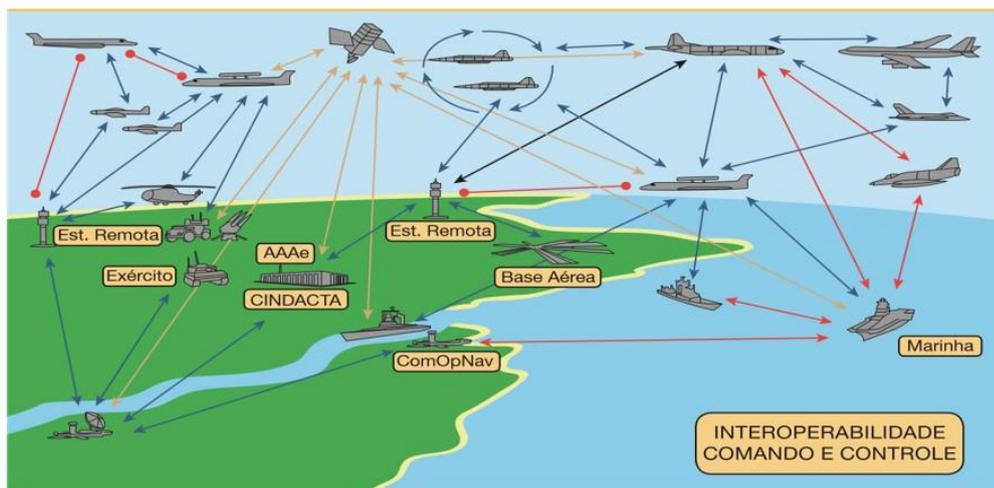
A definição de interoperabilidade é exposta no Livro Branco de Defesa Nacional da seguinte forma:

Interoperabilidade - Capacidade das forças militares nacionais ou aliadas de operar efetivamente, de acordo com a estrutura de comando estabelecida, na

execução de uma missão de natureza estratégica ou tática, de combate ou logística, em adestramento ou instrução. (BRASIL, 2012, p. 263)

Neste contexto, também são citadas situações onde este requisito deve ser empregado. É enfatizado o uso das Forças Armadas em articulação com órgãos de segurança pública federais, estaduais e municipais no cumprimento da Garantia da lei e da ordem. Essa intervenção tem aumentado nos últimos anos, mas só deve ocorrer “após esgotados os instrumentos destinados à preservação da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio” relacionados no art. 144 da Constituição Federal. Portanto, fica claro que a interoperabilidade é de suma importância para o Brasil. A Figura 4.2 ilustra um exemplo de interoperabilidade no contexto operacional de comando e controle.

**Figura 4.2 – Exemplo de interoperabilidade**



**Fonte: Livro Branco de Defesa Nacional**

De forma mais simples e didática, Hubner (2015) define interoperabilidade como uma alternativa para potencializar os recursos públicos e evitar o desperdício de energia com tarefas sobrepostas ou retrabalhos. Ele enfatiza também que apesar da integração deve haver uma aproximação de diálogo entre todos os atores.

A importância da interoperabilidade é plausivelmente ressaltada no aumento da capacidade de comando e controle. Pode-se dizer que ela “abrange todos os níveis de operações militares, do tático ao estratégico, do combate às operações de apoio, além de acomodar vários elementos, como, por exemplo, das plataformas às instalações militares, dos sistemas de

comunicação até o de suprimento das unidades militares” (MOON et al., 2008, p. 5, tradução nossa).<sup>2</sup>

Nessa perspectiva, fica fácil perceber que a concepção de interoperabilidade envolve muito mais processos e ações que evidencia a otimização de recursos e tempo. Além disso, quando aliado com outros países pode obter um espectro de atuação maior e mais eficaz para a defesa nacional.

### **4.3 A Política Nacional de Defesa**

No intuito de sedimentar o caminho para edificação da defesa almejada pelo estado brasileiro, Brasil (2012) cita dois documentos que são: a Política Nacional de Defesa (PND) e a Estratégia Nacional de Defesa (END). O primeiro tem como objetivo prioritário, a defesa contra ameaças externas, na condicionante de mais alto nível de planejamento. Ele estabelece objetivos e diretrizes para o preparo e o emprego da capacitação nacional, com o envolvimento dos setores militar e civil, em todas as esferas do poder nacional, ou seja, ele orienta os Estados quanto as ações a serem tomadas. Já o segundo tem como objetivo prioritário, estabelecer diretrizes para a adequada preparação e capacitação das Forças Armadas, de modo a garantir a segurança do país tanto em tempo de paz, quanto em situações de crise, de forma mais suscinta, ele estabelece como fazer o que foi definido pela PND.

A END, em sua diretriz número sete, determina a unificação e o desenvolvimento de operações conjuntas das três forças, de modo a extrapolar os limites impostos pelos protocolos de exercícios conjuntos. Ainda nessa diretriz afirma que os instrumentos principais dessa unificação serão o Ministério da Defesa e o Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas, assegurando que estes devem ganhar maior dimensão e responsabilidades mais abrangentes. Em outras palavras, trata-se de ações que visam facilitar a execução de operações conjuntas por parte das forças militares.

Outras diretrizes também fortalecem o conceito de interoperabilidade que são: a treze que determina que as forças propiciem aos seus combatentes os meios e habilitações para atuar em rede; a dezesseis que visa em estruturar o potencial estratégico em torno de capacidades e não de inimigos específicos; a dezessete que orienta a preparar o efetivo para o

---

<sup>2</sup> “This definition of interoperability encompasses all level of military operations from the tactical to the strategic, from combat to support operations, and accommodates interoperability between various types of

cumprimentos de missões de garantia da lei e da ordem, nos termos da constituição; e a dezoito que incentiva o estímulo a integração da América do Sul.

Outro documento mais completo e acabado acerca das atividades de defesa do Brasil é o Livro Branco de Defesa Nacional (LBDN) que visa estabelecer a sociedade brasileira e a comunidade internacional sobre as políticas e ações que norteiam os procedimentos de segurança e proteção à nossa soberania. Juntamente com a PND e a END destacam as aspirações das Forças Armadas do Brasil. Cabendo ressaltar dentre elas, a consolidação das estruturas de comando e controle bem como a interoperabilidade nas ações conjuntas.

#### **4.4 Sistema Tático de Enlace de Dados (SISTED)**

No documento MD31-S-02 (Conceito de Operações do Sistema Militar de Comando e Controle), as particularidades intrínsecas ao ambiente de cada uma das Forças Armadas são enfatizadas como uma das características que causam um nível de interoperabilidade menor, isto mediante ao fato de que cada uma delas realiza procedimentos próprios de Comando e Controle ao invés de ações mais unificadas.

Esse mesmo documento diz que “cabe ao Ministério da Defesa, como elemento centralizador de informações de Comando e Controle (C<sup>2</sup>) no nível político-estratégico, prover o conjunto de padrões que possibilitem a interoperabilidade entre todos os componentes, bem como apoiar os Comandos Operacionais Ativados, fornecendo-lhes informações de interesse.” Na mesma concepção ainda afirma que “na relação com os Comandos Subordinados, deve interoperar com os diversos sistemas de C<sup>2</sup> das Forças, tanto independentes quanto com alto grau de autonomia, como o Sistema Naval de Comando e Controle (SISNC<sup>2</sup>), o Sistema do Comando e Controle da Força Terrestre (SisC<sup>2</sup>FTer)”.

De acordo com Brasil (2016, p. 13), a figura do Sistema Militar de Comando e Controle (SISMC<sup>2</sup>) é o instrumento no qual o Comandante Supremo realizará, de forma centralizada, o comando da Estrutura Militar de Defesa (EttaMiD). Devido à complexidade desse sistema, todos os seus componentes são estruturados de modo planejado e em fases.

Segundo Brasil (2016), no nível tático, um dos componentes do SISMC<sup>2</sup> é o SISTED, que compreende no conjunto de enlaces de dados estabelecidos entre as Forças Armadas. Esse sistema tem por finalidade o intercâmbio de mensagens táticas entre Forças, na intenção de padronizar e parametrizar a execução de ações em cenários interforças com eficiência, eficácia, segurança e sem interferências mútuas.

Assim, o SISTED pode ser considerado como um facilitador da interoperabilidade, no nível tático, dos sistemas de Tecnologia da Informação e Comunicações (TIC) que integram os sistemas de C<sup>2</sup> das forças armadas. Portanto, ele tem a função de orientar as forças armadas a aderir um padrão específico de informações e sistemas para a viabilidade das ações conjuntas. Um exemplo disso, é o Programa de Interoperabilidade Técnica de Comando e Controle que será exposto a seguir.

#### **4.5 Programa Interoperabilidade Técnica de Comando e Controle**

Segundo Brasil (2015), o Programa Interoperabilidade Técnica de Comando e Controle buscará agregar, de modo coordenado, os principais projetos de sistemas táticos de Comando e Controle das Forças Armadas que são: o Rádio Definido por Software (RDS-Defesa); o Link BR-2 (LBR2); o Multi Data Link Processor (MDLP); e o Sistema de Enlace Naval (STERNA). Os preceitos formulados durante o Projeto SISTED serão seguidos e servirão para normatizar as ações para os futuros sistemas de Comando e Controle. Assim irá proporcionar a obtenção de benefícios, de sinergia e das capacidades que aumentem a interoperabilidade, não alcançáveis nos esforços singulares dos projetos.

O projeto RDS-Defesa é um empreendimento do MD, com coordenação do Exército Brasileiro e com apoio de fundações, empresas privadas e da Marinha do Brasil, tendo como objetivo o desenvolvimento de um rádio capaz de operar, com segurança, em diversas faixas de frequências e em ambientes operacionais hostis. A versão veicular desse projeto pode ser vista na Figura 4.3.

**Figura 4.3 - Protótipo do RDS-Defesa versão Veicular.**



**Fonte: Filho, Galdino e Moura (2017, p. 13).**

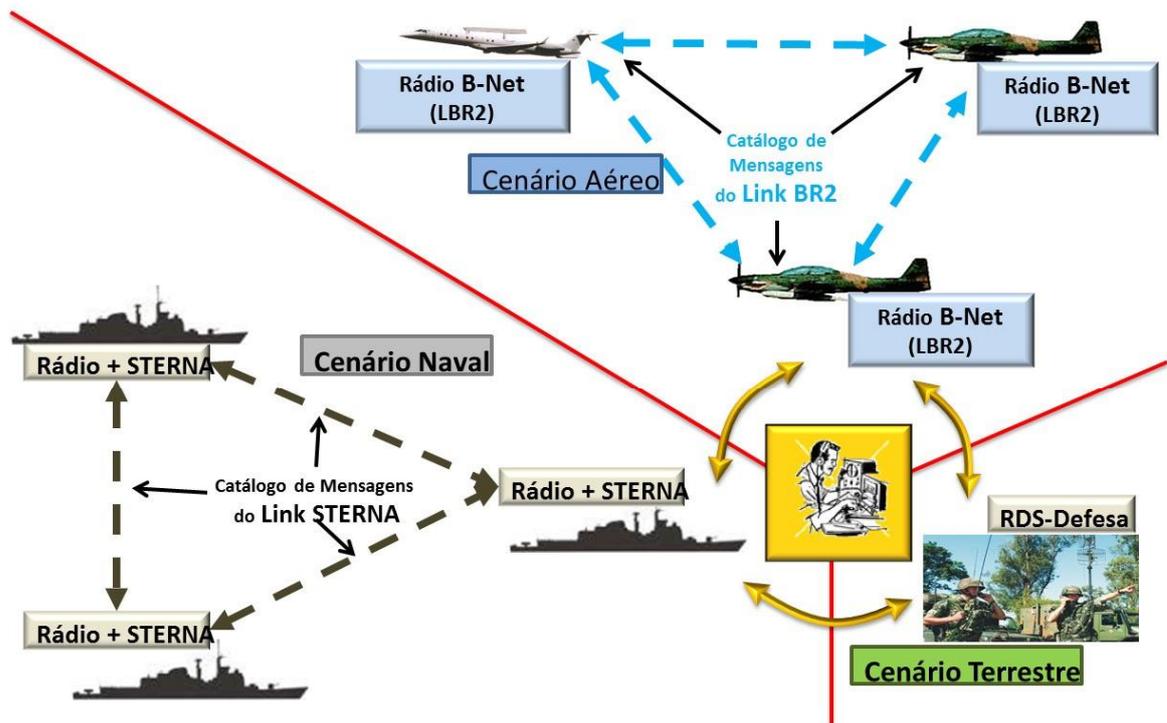
O projeto LBR2 refere-se a um *Link* de troca de dados aeronáutico, sob a coordenação do Comando da Aeronáutica (COMAER), que visa capacitar a FAB a realizar enlaces de dados e voz entre seus meios aéreos e suas unidades terrestres. Esse empreendimento consiste em uma modernização do Link BR-1 e já se encontra em fase de desenvolvimento.

O projeto do MDLP, tem como objetivo principal oferecer a troca de informações entre diferentes TDLs, como, por exemplo, o Link YB, o LBR2, o Link Fraternal etc. Esse empreendimento está sob a coordenação da Marinha do Brasil, através da DSAM.

O projeto STERNA consiste em uma modernização do Link YB. Assim como o MDLP, ele também é de responsabilidade da MB mas através do IPqM. A meta desse projeto é estabelecer um novo TDL naval, objetivando a troca de mensagens táticas entre os navios da MB. Primeiramente esse TDL usará rádios da própria embarcação e, no futuro, será adaptado para usar o RDS-Defesa. (Brasil, 2015, p. 2)

De acordo com o mesmo autor, esses projetos foram concebidos visando suprir necessidades específicas de cada corporação, não sendo abordado o cenário de operações conjuntas. Caso essa situação continue, haverá restrições operacionais, bem como a falta de sinergia e o emprego ineficaz das forças em operações conjuntas. Na Figura 4.4 é possível observar como seria esse cenário.

**Figura 4.4 - Cenário com projetos isolados.**

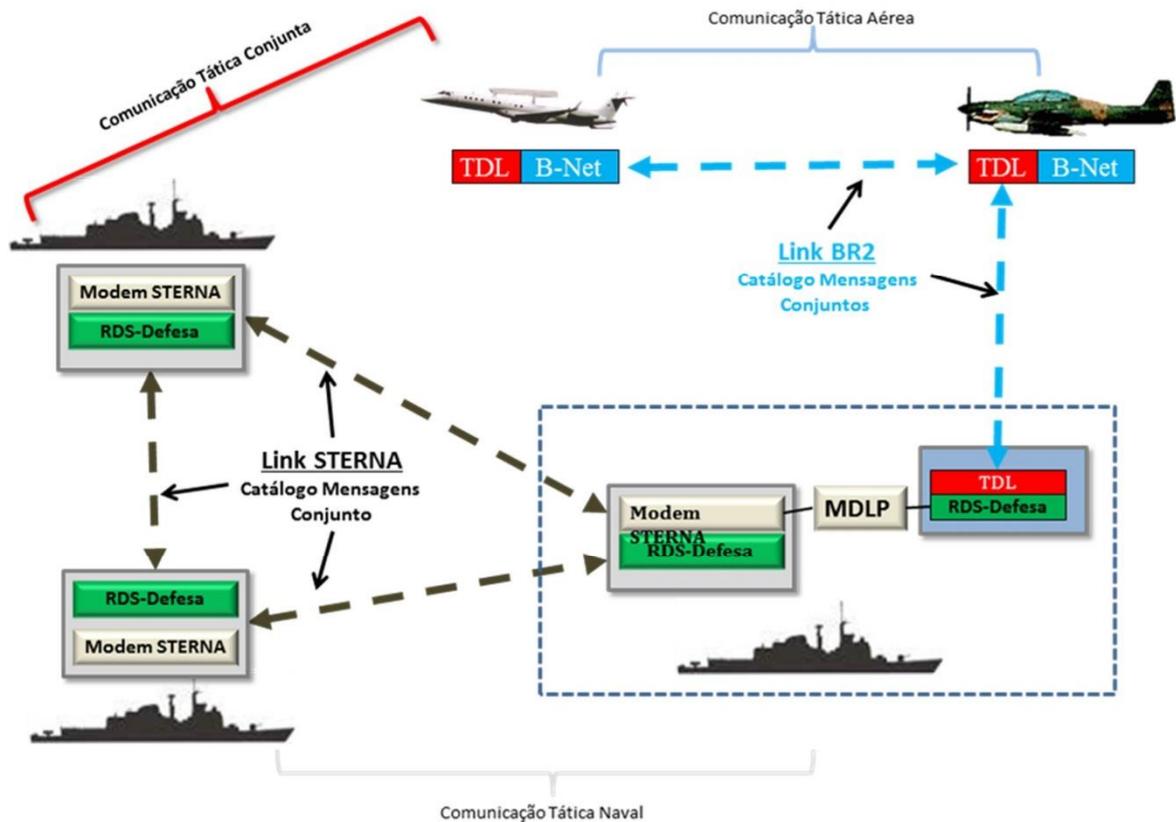


Fonte: Brasil (2015).

Na Figura 4.4, pode-se observar um risco alto de perda da interoperabilidade pois o enlace envolve o componente humano de forma obrigatória a fim de se efetivar a troca de informações de sistemas distintos. Assim, essa solução se mostra como um paliativo diante do problema, sendo considerada até ineficiente para muitos autores. Segundo Brasil (2015, p.4), essa prática pode causar uma grande inserção de erros nos sistemas, bem como a interpretação equivocada de dados e o atraso no processamento das informações.

Diante desse fato, o Programa de Interoperabilidade Técnica de Comando e Controle, alinhado aos objetivos do SISTED, busca promover a sinergia entre os projetos de incumbência de cada força. Isso fará com que o emprego dessas unidades em operações conjuntas seja eficaz. Na Figura 4.5 é possível observar o cenário planejado pelo programa.

Figura 4.5 - Cenário planejado.



Fonte: Brasil (2015).

Na Figura 4.5, pode-se observar que existe a interoperabilidade das soluções propostas em cada projeto, caracterizando a execução do programa. Nesse sistema, o RDS-Defesa é capaz de ser integrado nos Links STERNA e BR2, dessa forma, ele permite a troca automática de dados entre os meios navais, aéreos e terrestres de forma conjunta, sem a necessidade do componente humano na interface dos sistemas.

#### 4.6 Programa RDS-Defesa

O Projeto Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa (RDS-Defesa) foi aprovado e autorizada sua execução nos termos da Portaria no 2.110-MD, de 09 de agosto de 2012. A coordenação do projeto é atribuída ao Exército Brasileiro que delegou tal responsabilidade ao Centro Tecnológico do Exército (CTEx). Essa organização militar já mitigava estudos e pesquisas nessa área desde 2010.

O intuito do Programa RDS-Defesa é contribuir com a interoperabilidade nas comunicações táticas das Forças Armadas em operações conjuntas. Além de contribuir para o desenvolvimento da Base Industrial de Defesa no país e instigar a eficiência, disponibilidade

e segurança nas comunicações, seja nos aspectos ligados a Guerra Eletrônica ou no que se refere à Cibernética.

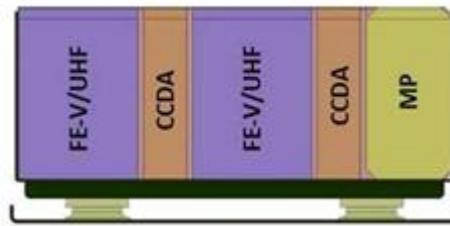
Segundo Galdino (2017), o programa possui as seguintes metas a fim de alcançar os seus objetivos:

- a) Pesquisar e desenvolver protótipos: de rádios veiculares, para vetores terrestres, navais e aeronáuticos (necessita de processo de certificação aeronáutico); portáteis (*manpack*), rádios portáteis que podem ser carregados nas costas; e de porte (*handheld*), rádios ultra portáteis que podem ser carregados na mão. Todos para emprego tático, baseados no Radio Definido por Software (RDS), de modo a conferir interoperabilidade, redução de custos logísticos, confiabilidade, estabilidade, flexibilidade e segurança aos produtos de defesa; e
- b) Pesquisar e desenvolver formas de onda compatíveis com a especificação de software SCA (Software Communication Architecture), que é a arquitetura de software do programa estadunidense de RDS conhecido como JTRS (Joint Tactical Radio System).

Foi determinado que no primeiro ciclo de desenvolvimento serão feitos os protótipos de RDS veiculares operando nas faixas de HF, VHF e UHF; operando com diferentes formas de ondas analógicas e digitais em todas essas faixas espectrais. Tendo cuidado com diversos mecanismos de segurança cibernética, segurança na transmissão (TRANSEC) e nas comunicações (COMSEC).

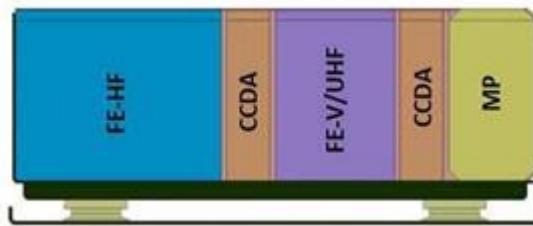
Galdino (2017) afirma que para facilitar a P&D, o projeto de cada etapa foi dividido em 13 (treze) módulos, sendo um voltado para Gestão, outro para Integração e os outros destinados a desenvolver parcelas específicas dos protótipos, tais como Formas de Onda, soluções de Segurança, Front-End e Plataforma Operacional. Nas Figura 4.6 e 4.7 são apresentados os desenho dos protótipos dos módulos do RDS-Defesa versão veicular, sendo que o primeiro não possui o módulo de HF na sua versão.

**Figura 4.6 – Protótipo dos módulos do RDS-Defesa versão veicular sem HF**



Fonte: Galdino (2017).

Figura 4.7 – Protótipo dos módulos do RDS-Defesa versão veicular com HF



Fonte: Galdino (2017).

Os protótipos são compostos de acordo com quadro 4.2 abaixo:

Quadro 4.2 – Módulos do RDS-Defesa versão veicular

<b>Módulos:</b>	<b>Função:</b>
MP – Módulo de processamento	É realizado todo o processamento de banda base dos rádios.
CCDA – Controle e Conversão Digital Analógica	São realizadas as conversões entre os domínios digitais e analógicos; também são realizadas filtragens digitais, sincronizações e o controle automático de ganhos.
FE-V/UHF – Front End na faixa VHF e UHF	Responsável, na faixa de VHF e UHF, por realizar filtragens analógicas na recepção e por gerar ondas eletromagnéticas na transmissão.
FE-HF – Front End na faixa HF	Responsável, na faixa de HF, por realizar filtragens analógicas na recepção e por gerar ondas eletromagnéticas na transmissão.
MII – Módulo de Interface e Integração	Permite o emprego local e remoto em relação ao usuário e o conjunto principal.

MA – Módulo de Alimentação	Responsável pelo fornecimento de energia para todos os módulos.
----------------------------	---

Fonte: elaboração própria com base nos autores: Galdino(2007); Moura (2007); e Filho (2007)

A Marinha tem um papel importante nesse projeto, principalmente sob a coordenação do CASNAV (Centro de Análise de Sistemas Navais), que é responsável pelo Módulo de Segurança (MSEG). Pelo fato do RDS ser alvo de inúmeros ataques de Guerra Eletrônica e Cibernética seu escopo relaciona o *hardware* em conjunto com *software*. Por isso, são desenvolvidos procedimentos de criptologia de alta segurança, mecanismo de by-pass, gerenciamento de chaves criptográficas e suporte a funções de identificação, autenticação e integridade. Até mesmo, a mentalidade de políticas de segurança é analisada no programa.

Atualmente, o desenvolvimento desse projeto conta com a participação do próprio CTEEx, do CASNAV (Centro de Análise de Sistemas Navais), do IPqM (Instituto de Pesquisas da Marinha), e de outras duas empresas: a MECTRON/Odebrecht e a Hidromec (Galdino (2017, p.14). Trata-se de um projeto ambicioso e de alto risco tecnológico que requer recursos humanos qualificados e elevado investimento financeiro, sendo que seus resultados só serão concluídos a longo prazo.

#### 4.7 Considerações finais

Conforme discutido neste capítulo, a interoperabilidade é um conceito que sua importância já está difundida e comprovada no mundo. Diante disso, também é possível observar que o governo brasileiro, junto ao Ministério da Defesa, está motivado em não medir esforços para o desenvolvimento de tecnologias que fortalecem a mentalidade desse conceito, sendo o programa RDS-Defesa extremamente importante e ambicioso o qual pode alavancar o desenvolvimento tecnológico do país no setor . Foi visto também, que a atividade conjunta e coordenada das três forças armadas brasileiras pode otimizar recursos e aumentar a sinergia em um ambiente de batalha moderno.

## 5 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No capítulo 3 foi apresentado os conceitos e como funciona um sistema de RDS. Já o capítulo 4 apresentou a principal motivação para o estudo do RDS que é a interoperabilidade dos meios entre diversas forças ou nações. Neste capítulo, o foco será na apresentação de outros benefícios e riscos da implementação do RDS.

### 5.1 Vantagens do RDS

As vantagens do RDS são enormes em relação à metodologia tradicional de desenvolvimento de rádios. Todavia, é importante avaliar cada projeto para saber se o uso de RDS é mais vantajoso. No meio militar, essa tecnologia oferece benefícios que podem fazer a diferença em um cenário de combate real. A seguir serão expostas as principais vantagens do RDS, focando no meio militar.

#### 5.1.1 Controle por Software

A operação com *software* permite ajustar parâmetros de acordo com necessidade, seja pelo relevo hostil ou pela característica do canal, quando existe a presença de componentes de caminhos múltiplos (MCP), como por exemplo a refração, difração, reflexão etc. Esses parâmetros podem ser a forma de onda, a frequência ou a modulação.

Outra característica importante dessa vantagem, é a capacidade de fazer atualizações no *software* através de um programador e não precisar substituir o hardware embarcado. Isso facilitaria modernizações nos meios navais até mesmo de forma remota sendo executado pela própria tripulação.

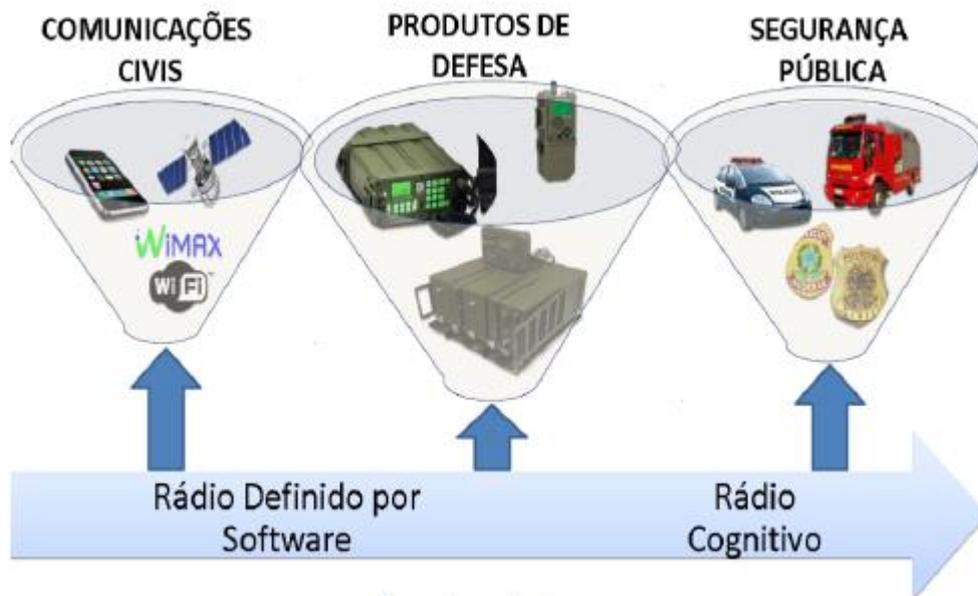
#### 5.1.2 Interoperabilidade

Neste trabalho, foi realizado um estudo mais profundo sobre a interoperabilidade, que é considerada a principal característica para os parâmetros militares. Essa vantagem foi

amplamente exposta e defendida por diversos autores. Todavia, é uma grande vantagem aos sistemas convencionais pois sua vasta gama de configurações disponíveis permite a operação em conjunto com os mais variados sistemas de comunicação, o que pode vir a proporcionar ações mais diversificadas possíveis, devido às suas variadas técnicas de modulação.

O meio civil se mostra mais preocupado com os rádios cognitivos, pois estes buscam faixas livres de frequência para efetuar o enlace. Todavia, eles utilizam o RDS em sua arquitetura. O RDS possibilita o emprego *dual* em diversas esferas de comunicação. Ele pode proporcionar interoperabilidade entre agências federais e estaduais, diminuir o congestionamento do espectro eletromagnético, revolucionar os padrões de telefonia móvel e satélite, e por fim, impulsionar avanços no 5G, IoT e rádio cognitivo. A Figura 5.1 mostra um exemplo de como seriam as comunicações de forma integrada com o uso do RDS.

**Figura 5.1 – Exemplo de comunicações integradas utilizando o RDS**



Fonte: Mendes (2018)

### 5.1.3 Mobilidade

O fato do RDS ser baseado em *software* traz a possibilidade de se operar em qualquer tipo de plataforma: meios de superfície, meios aeronavais, carros de combate do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) e submarinos. Conforme apresentado nos capítulos anteriores o RDS pode ser implementado até mesmo em rádios portáteis, no caso de mochilas, e ultra

portáteis, quando são transportados na mão do usuário. Assim, faz da mobilidade um importante adendo para o combate real.

Cabe ressaltar também que essa redução de tamanho pela não utilização de hardware, além de prover esses benefícios citados também reduz custos de operação, devido ao fato de diminuir o peso do equipamento de rádio.

#### 5.1.4 Flexibilidade

Essa vantagem traz benefícios de operar em situações adversas de terreno, pois o RDS pode-se ajustar em frequência, forma de onda ou modulação requerida. Além disso, causa sinergia, pelo fato de também reduzir custos pois com apenas um equipamento, o usuário pode guarnecer diferentes canais conforme for necessário.

A bordo dos navios, seria possível a diminuir a variedade de equipamentos rádios transceptores, que com o advento do RDS, seriam capazes de guarnecer as bandas necessárias com o mesmo equipamento de rádio. Sua manutenção seria mais barata e fácil, pelo fato dos equipamentos serem padronizados e o adestramento dos recursos humanos mais eficazes

#### 5.1.5 COTS

A vantagem do COTS (*Commercial off the shelf*) é uma característica que traz como benefício a redução de custos com sobressalentes, facilidade de fornecimento de recursos de *hardware* em qualquer lugar que o meio esteja operando.

#### 5.1.6 Avanços tecnológicos e agregação de serviços

Cada país tem suas próprias regras no que diz respeito às comunicações, assim, as empresas são obrigadas a fabricar versões diferentes de um mesmo *hardware* para se enquadrar na legislação de cada país (esquemas de modulação diferentes, formatos de mensagens, faixas de frequências etc.). Com o uso do RDS as diversas especificidades de cada região poderiam ser implementadas em *software*, criando uma única plataforma de *hardware*.

## 5.2 Desvantagens do RDS

Como toda tecnologia, o RDS também apresenta desvantagens que devem ser estudadas para aprimorar esse sistema. A seguir serão expostas as principais desvantagens e riscos do RDS.

### 5.2.1 Segurança

Ainda hoje, uma parte da funcionalidade dos transceptores é implementada em *hardware*, de modo que é impossível modificá-la sem o acesso físico ao *hardware*, fato que fortifica a segurança. No entanto, como a maioria das funcionalidades são movidas para *software*, as falhas de segurança podem ocorrer e estas podem ser exploradas remotamente.

No mundo, a Guerra cibernética e a eletrônica tem sido muito explorada por países que detém esse conhecimento, há uma grande quantidade de ataques desse tipo. No quadro 5.1 são apresentados os ataques e as vulnerabilidades do RDS, bem como sua classificação.

**Quadro 5.1 – Ataques e vulnerabilidades do RDS**

<b>Classe de ataques</b>	<b>Ataques e vulnerabilidades</b>
Controle do Rádio	Injeção de software. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Overflow em memória física;</li> <li>• Vulnerabilidades na atualização de formas de onda;</li> <li>• Vulnerabilidades na inicialização.</li> </ul>
Personificação	Repetição. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerabilidades em protocolos Brechas de autenticação.</li> </ul> Falsificação de posicionamento GPS.
Modificação não autorizada de dados	Injeção em software. Injeção em hardware. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerabilidades de implementação;</li> <li>• Cavalos de troia em hardware;</li> <li>• Clonagem de dispositivos</li> </ul>
Acesso não autorizados a dados	Injeção em hardware. Injeção em software. Ataques com base em análise de tráfego.

	Ataques do tipo Side-channel. Ataques com base em falhas. Ataques com base em engenharia social.
Negação de serviço	Injeção em hardware. Injeção em software. Interferência. Inundação.

Fonte: Galdino (2017)

Portanto, essa desvantagem pode inutilizar todo o sistema de comunicações através de um colapso geral. Todavia, o mais comum seria a negação de serviço. No Brasil, o CASNAV é a entidade responsável pelo módulo de segurança do RDS. O acesso não autorizado a dados, a modificação de dados e a tomada do controle do rádio pode ser muito perigoso em um campo de batalha moderno.

### 5.2.2 Uso de energia superior e maior área de circuito

É perceptível que uma implementação programável pode exigir mais portas lógicas do que uma implementação de *hardware* completo. Esta pode ser uma limitação significativa para as redes programáveis em situações onde o tamanho do *chip* e o consumo de energia são restrições de projeto fundamentais como, por exemplo, no uso em dispositivos móveis.

### 5.2.3 Desempenho inferior

Um sistema baseado em *hardware* é otimizado para a tarefa em questão, entretanto um sistema baseado em *software* geralmente emprega um *hardware* genérico, requerendo assim mais ciclos para executar as mesmas tarefas. Assim, sistemas implementados totalmente em circuitos integrados tendem a superar os sistemas baseados em *software* em termos de desempenho.

## 5.3 Aplicação militar na Marinha do Brasil

Diante da tecnologia utilizada e de sua grande versatilidade, a utilização do RDS no âmbito militar demonstra ser de elevada importância. Grandes nações já possuem esse sistema em suas Forças Armadas.

A versatilidade e a interoperabilidade se mostraram indispensáveis nas missões com diversos meios e nações, e justamente essas capacidades são fomentadoras para tornar a utilização do RDS uma necessidade para a MB. Esse mesmo fato já foi mencionado como primordial para o alinhamento estratégico da Marinha pelo Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicações (PDTIC-MB-2017-2020). Este Plano, tem por objetivo nortear e acompanhar a atuação da área de Tecnologia da Informação e Comunicações (TIC), sendo uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão, habilitando o gestor a agir antecipadamente contra as ameaças e a favor das oportunidades.

Em contraponto às vantagens apresentadas, também torna-se digno de nota a vulnerabilidade intrínseca do RDS, onde um sistema baseado em *software* e interligado aos demais sistemas embarcados torna-se alvo de ataques de cunho cibernético aos seus sistemas, problema muito grave na atual conjuntura de Guerra Centrada em Rede mas que não afeta os antigos equipamentos de comunicação.

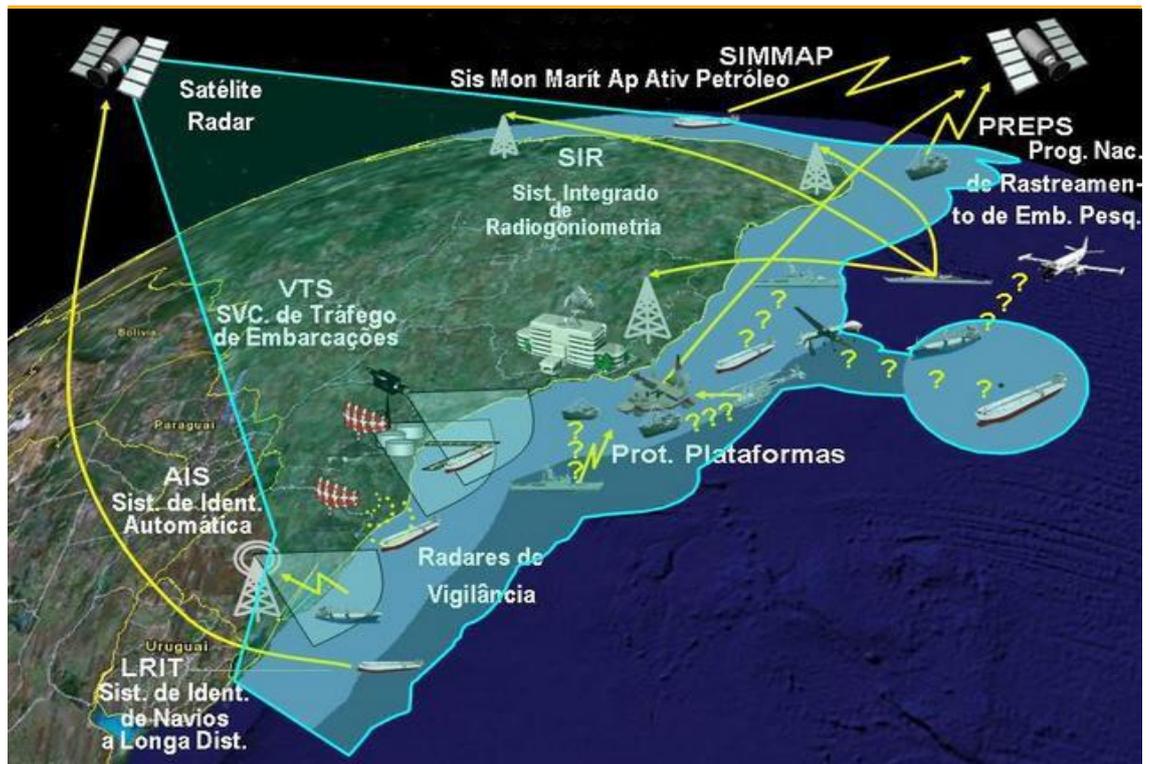
A Marinha possui uma grande quantidade de meios, seja em terra, no ar, no mar e até mesmo debaixo d'água. A implantação do RDS tornaria a Marinha mais integrada e padronizada no setor de comunicações via rádio. Os meios de superfície, os meios aeronavais, a força de submarinos, os carros de combate e as tropas dos Fuzileiros Navais são capazes de aderir a esse programa. Isso facilitaria muito a Marinha no cumprimento de sua missão primordial que segundo artigo 142 da Constituição da República Federativa do Brasil é garantir a defesa da Pátria juntamente com as demais forças.

A necessidade de atuar nas ações de garantia da lei e da ordem, bem como em um remoto conflito, deve ser analisado e tomados os cuidados necessários para a prontidão da Marinha. O Brasil por ser um país de extensa área territorial com riquezas imensuráveis deve investir no seu poder de defesa em consoante aos avanços tecnológicos. Um exemplo dessa necessidade pode ser visto na proteção da Amazônia Azul.

Segundo Brasil (2012), o Sistema de Gerenciamento da Amazônia azul (SisGAAz) foi concebido para ser um sistema de monitoramento e controle relacionado ao conceito internacional de segurança marítima e para proteção do litoral brasileiro. Ele visa o incremento do conhecimento sobre o ambiente marítimo e o posicionamento dos meios operativos disponíveis, para responder prontamente às crises ou emergências que ocorram no litoral

brasileiro. Mediante essas necessidades, o RDS pode ser uma alternativa muito útil para a proteção continuada do território brasileiro. A Figura 5.2 mostra o funcionamento do SisGAAz.

Figura 5.2 – SisGAAz em operação



Fonte: Brasil (2015).

## 5.4 Considerações finais

A partir dos tópicos abordados neste capítulo, pode-se concluir que a importância da utilização do sistema RDS não é restrita apenas às operações conjuntas, mas também pode ser, internamente, proveitosa na própria Marinha, devido a sua heterogeneidade. Suas vantagens são bastantes atraentes, mas requerem cuidados de segurança, principalmente com os adventos da Guerra Cibernética e Eletrônica.

## 6 CONCLUSÃO

Diante do atual cenário de mudanças constantes que a conjuntura global apresenta, novas formas de cooperação militar foram desenvolvidas com o intuito de aumentar a capacidade operativa de um país. As operações conjuntas, combinadas e interagências faz com que forças diferentes se complementem, assim, alcançando os seus objetivos de forma mais eficaz e com sinergia de recursos.

A interoperabilidade é um conceito basilar para lograr êxito em qualquer tipo de ação que envolva meios distintos. É notório que o emprego dessa característica aumenta significativamente o Poder Militar de uma nação. Sem ela, os Comandantes ficariam limitados às capacidades de suas unidades e perderiam toda a vantagem de operar com recursos em rede.

A aquisição de equipamentos que facilitem a integração das forças em ações conjuntas, é vista como decisiva e valiosa por vários países. O Brasil se mostrou determinado em solucionar problemas e entrou em um programa ambicioso que pode deixá-lo ainda mais forte no cenário mundial, o RDS-Defesa.

O Radio Definido por Software (RDS) vem como uma solução viável para esses problemas citados acima. Ele é capaz de modificar toda estrutura de um equipamento de rádio frequência sem a necessidade de modificar o hardware. Suas vantagens são facilmente vistas por suas características de flexibilidade, modularidade e reconfigurabilidade.

Dentre os benefícios da implantação nos meios navais, conclui-se que, apesar dos cuidados necessários com a segurança cibernética do equipamento, seus atributos positivos são muito maiores. Pois, ele pode alterar a frequência, a forma de onda ou o tipo de modulação de acordo com o que o teatro de operações exigir. Além disso, favorece o conceito de sinergia, uma vez que sua flexibilidade permite atualizações, sem modificações no hardware e o COTS que permite redução de custos e favorece a manutenção em lugares longínquos. Vale a pena destacar também, a possibilidade de ser instalado em qualquer tipo de plataforma devido sua característica de mobilidade.

Para concluir, diante do Programa de Reparelhamento da Força, onde novos meios navais e aeronavais estão sendo adquiridos para a Marinha do Brasil, torna-se primordial a existência de um RDS a bordo desses meios, tendo em vista o aprimoramento e o fortalecimento do Poder Naval na defesa do território brasileiro.

### 6.1 Considerações Finais

Como discutido neste capítulo, o RDS é um programa que promete solucionar o problema da interoperabilidade quando em operações conjuntas, sua implementação nos meios navais fortalece a conexão em rede entre as unidades. Seus benefícios podem ser decisivos em um ambiente moderno de batalha. Portanto, sua implantação nos meios de superfície, meios aeronavais ou nos meios do CFN deixaram a Marinha ainda mais forte.

## **6.2 Sugestões para Futuros Trabalhos**

Sugere-se que se aprofundem os estudos de viabilidade técnica da implantação dos sistemas de RDS com foco nos riscos de segurança para o seu emprego embarcado, enfatizando a sua capacidade de proteção à ameaças cibernéticas e aprofundando o estudo das ameaças atuais, também pode-se relacionar o avanço do seu código base e sua criptografia utilizada.

Um enfoque que poderia ser dado em trabalhos futuros seria, também, um estudo de técnicas de rádio localização e rádios cognitivos que utilizem o RDS. Além de uma possível interface com os equipamentos utilizados na Guerra eletrônica, como o MAGE por exemplo, favorecendo assim, um eficaz controle do espectro eletromagnético.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Centro de Análise de Sistemas Navais. **Missão e Visão**. 2013. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/casnav/?q=node/65>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Conceito de Operações do Sistema Militar de Comando e Controle (CONOPS SISMC<sup>2</sup>)**. Brasília, 2016. 66 p. Disponível em: <[https://www.defesa.gov.br/arquivos/doutrina\\_militar/lista\\_de\\_publicacoes/md31\\_s\\_02\\_conops\\_sismc\\_1\\_ed\\_2015.pdf](https://www.defesa.gov.br/arquivos/doutrina_militar/lista_de_publicacoes/md31_s_02_conops_sismc_1_ed_2015.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Manual de Abreviaturas, Siglas, Símbolos e Convenções Cartográficas das Forças Armadas**. Brasília, 2001. 367 p. Disponível em: <[https://www.defesa.gov.br/arquivos/File/legislacao/emcfa/publicacoes/md33\\_m\\_02\\_mnl\\_abrev\\_sigla\\_sbicnvc\\_crtgrffa\\_3aed2008.pdf](https://www.defesa.gov.br/arquivos/File/legislacao/emcfa/publicacoes/md33_m_02_mnl_abrev_sigla_sbicnvc_crtgrffa_3aed2008.pdf)>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa**. Brasília, 2012. 81 p. Disponível em: <[http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado\\_e\\_defesa/END-PND\\_Optimized.pdf](http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/END-PND_Optimized.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2020.

BRASIL. Decreto nº. 5.484, de 30 de junho de 2005. **Aprova a política de defesa nacional, e dá outras providências**. Brasília, DF, jun. 2005. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/decreto/d5484.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5484.htm)>. Acesso em: 23 dez de 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa. Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, 2012c.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Programa Interoperabilidade Técnica de Comando e Controle**. Brasília, 2015. 8 p.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Conceito de Operações do Sistema Militar de Comando e Controle**. 1ª edição. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério da Defesa. **MD30-M-01. Doutrina de Operações Conjuntas**. 1ª ed. Brasília, 2011a.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Brasília, 2012b.  
Disponível em: <<http://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/lbdn.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

BARROS, Letícia Garcia de. **O Rádio Definido por Software**. Brasília: ENE/UnB, 2007.

Dominguez P. I., Fuentes M. J.J., Laboratório de Comunicações Digitais Rádio Definida por Software. Departamento de Teoria do Sinal e Comunicações (TSC), Universidade de Sevilla, 2011.

ETTUS, M. (2009). Universal software radio peripheral. Disponível em:  
<<http://www.ettus.com/>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

FILHO, H. V. P.; GALDINO, J. F.; MOURA, D. F. C. Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos de Defesa: Reflexões e Fatos sobre o Projeto Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa à luz do Modelo de Inovação em Tríplice Hélice. **Revista Militar de Ciência e tecnologia**. Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, p. 6-19, 2017. Disponível em:  
<[http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT\\_1\\_sem\\_2017/artigo1\\_2017.pdf](http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_1_sem_2017/artigo1_2017.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2020.

FREIRE, L. T. et al. **Ágata Operations: lessons learned from the logistics command**. In: RICCO, Maria Filomena Fontes. **Culture and Defence in Brazil: an inside look at Brazil's aerospace**. Routledge, 2017.

HAMZA, A. F., “The USRP under 1.5X Magnifying Lens!”, GNU Radio Project, Boston, 2008. Disponível em: <[http://gnuradio.cn/wiki/pdf/USRP\\_Documentation.pdf](http://gnuradio.cn/wiki/pdf/USRP_Documentation.pdf)>. Acesso em: 18 dez.2019.

HÜBNER, M. R. W.. **Fronteiras do Brasil: a busca pela integração e interoperabilidade das políticas governamentais.** 2015. 134 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso - Altos Estudos de Política e Estratégia) - Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2015.

HUSEYIN, A. **Cognitive Radio, Software Defined Radio, and Adaptive Wireless Systems.** Signals And Communication Technology. Springer, 2007.

KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da Pesquisa: um guia prático.** Itabuna: Via Literarum, 2010. 88 p. Disponível em: <<http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/713/1/Metodologia%20da%20Pesquisa.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

MITOLA, J. **Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications.** Estocolmo, 1999.

MITOLA, J. **Software Radio Architecture.** [S.l.]: Wiley, 2000.

MITOLA, J. **Cognitive Radio – An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio.** Wiley, 2000.

MOON, T. et al. **The What, Why, When and How of Interoperability.** Defense & Security Analysis. Vol. 24, No. 1, pp. 5-17, March 2008.

PESSOA, T. S. **A formação de oficiais e as operações conjuntas: comparações com o caso britânico e os desafios brasileiros de gestão em defesa - (Obtenção do título de doutora no programa de pós-graduação em estudos estratégicos internacionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.**

ROCHA, D. W. D. **Implantação de um Datalink para Aeronaves de Pequeno Porte. 2011.** 92 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações) - Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, 2011. Disponível em: <<https://docslide.com.br/technology/tccimplantacao-de-um-datalink-para-aeronaves-de-pequeno-porte.html>>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SANTOS, C. H. A. **Interoperabilidade: um desafio contínuo em operações conjuntas**. Instituto de Estudos Superiores Militares. Lisboa. 2009.

SLOAN, E. C. *Military Transformation and Modern Warfare: a reference handbook*. Westport: Praeger Security International, 2008.

SLOAN, Elinor C. *Modern Military Strategy: an introduction*. London and New York: Routledge, 2012. Chapter 4.

TUTTLEBEE, W. **Software Defined Radio**. [S.l.]: Wiley, 2002.

UNITED STATES. Department of Defense. **Joint Operations**. Virginia. 2017.

VALERIO, D. **Open Source Software-Defined Radio: A survey on GNU radio and its applications**. Viena. Technical Report. Agosto 2008. Disponível em <<https://pdfs.semanticscholar.org/90cd/fd630dabf4ea75aea53bbc9c22ae2367e737.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2020.