

Rádio Definido por Software e a Interoperabilidade Tática de C2

Jorge Eduardo Calvelli¹, Tomás de A. T. Botelho¹, Carlos Augusto C. Carvalho², Cícero Roberto Garcez³

¹Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV), Rio de Janeiro/RJ – Brasil

²Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), Rio de Janeiro/RJ - Brasil

³Instituto Militar de Engenharia (IME) - Programa de PG Eng Defesa, Rio de Janeiro/ RJ – Brasil

Resumo – O programa RDS-Defesa realiza pesquisa e desenvolvimento de soluções tecnológicas que implementem a interoperabilidade nas comunicações táticas das Forças Singulares (FS), bem como garantam a atuação, com liberdade de ação e segurança, no espaço cibernético. O projeto Interoperabilidade de Comando e Controle (InterC2) é um produto de software desenvolvido pelo o Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) para o Ministério da Defesa (MD) com o objetivo realizar a interoperabilidade entre os Sistemas de C2 das FS e os do MD. Este artigo apresenta uma proposta de interoperabilidade de Sistemas de Comando e Controle no nível tático, empregando a aplicação do Rádio Definido por Software (RDS) integrada ao Sistema de Planejamento Operacional Militar (SIPLM) do MD via troca de mensagens através do Barramento de Comunicações.

Palavras-Chave – Radio Definido por Software, Comando e Controle, Interoperabilidade.

I. INTRODUÇÃO

A evolução das operações militares leva a um cenário onde o emprego de mais de uma Força Armada contribui para o sucesso das ações empreendidas.

As Forças Singulares (FS) devem somar esforços, compatibilizar procedimentos e integrar as ações, de forma a se obter maior eficiência na execução das Operações Conjuntas (OpCj) [1]. A atividade de Comando e Controle (C2) é o fio condutor do cenário apresentado, onde o dinamismo dessas operações requer uma aceleração em seu ciclo decisório conhecido como ciclo OODA (Observar, Orientar-se, Decidir e Agir) e, para que esse esforço seja viável, é necessária uma base doutrinária e um apoio tecnológico consistente.

No campo doutrinário, o MD30-M-01 – Doutrina de Operações Conjuntas e o MD31-M-03 – Doutrina para o Sistema Militar de Comando e Controle, são as diretrizes para o planejamento, execução e acompanhamento das operações conjuntas e colocam a interoperabilidade como um elemento chave [2].

No que tange a tecnologia, a sua aplicação adequada permite uma interoperabilidade que aumenta a sinergia entre as FS (nível tático) e o comando da operação (níveis estratégico e operacional), facilitando a troca de informações, entre seus sistemas de C2, e aprimorando o processo de tomada de decisão, ciclo OODA.

Jorge Eduardo Calvelli, calvelli.femar@marinha.mil.br, Tel. 21-21977445;
Tomás de A. T. Botelho, tomas.aquino@marinha.mil.br, Te. 21-982390101;
Carlos Augusto C. Carvalho, carlosacc@hotmail.com, Tel. 21-981197553;
Cícero Roberto Garcez, garcez@ime.eb.br, Tel. 21-2263-2847.

Com a maturidade do processo de interoperabilidade, surge a necessidade de comunicação multidirecional entre os sistemas de C2, incluindo aí o sentido Força-Força (tático-tático). Neste caso, o apoio de novas tecnologias amplia a gama de recursos que podem ser empregados, especialmente a aplicação do Rádio Definido por Software (RDS).

A tecnologia utilizada para as comunicações militares sem fio com o advento do RDS sofre uma mudança de paradigma ao permitir a interoperabilidade e a portabilidade das formas de onda.

O conceito RDS é bastante amplo e envolve desde projetos simples com hardwares dedicados e software embarcados, até projetos mais sofisticados que empregam equipamentos de uso geral e a adoção de uma arquitetura de comunicação interna. Em todos estes projetos, as principais vantagens e possibilidades que essas novas tecnologias propiciam são a interoperabilidade, a integração de serviços (dados, mensagens, voz digitalizada, imagem e vídeo), a portabilidade de formas de onda (padrões de comunicações) e o aproveitamento dos avanços tecnológicos no setor das radiocomunicações, reduzindo a necessidade de substituição constante de hardware [3].

O RDS também pode ser considerado uma plataforma adequada para o desenvolvimento de rádios cognitivos para atender demandas de comunicações táticas das FS.

Este artigo apresenta uma proposta da aplicação do RDS integrado ao Barramento de Comunicação como alternativa para promover a interoperabilidade das comunicações nos níveis operacional e tático entre as FS e entre essas e os Sistemas de C2 do Ministério da Defesa (MD) nas OpCj, cujo objetivo a ser alcançado é consciência situacional compartilhada em uma operação militar.

Para atingir o objetivo, será demonstrada a possibilidade de utilização de uma rede de RDS, através do uso de uma Forma de Onda Conjunta, no apoio a troca de informações entre sistemas de C2.

O artigo está organizado da seguinte maneira: na seção II e III são apresentados conceitos relativos a interoperabilidade e o RDS respectivamente, na seção IV é apresentada a proposta de solução e na V é feita a conclusão do trabalho.

II. INTEROPERABILIDADE

O Barramento de Comunicação de Comando e Controle do projeto Interoperabilidade de Comando e Controle (InterC2) é um produto de software desenvolvido pelo o Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), da Marinha do Brasil (MB) em cumprimento ao termo de compromisso firmado com a SC-1/CHOC/EMCFA/MD.

Contratos de Objetivos foram firmados MD e as FS orientando que a interoperabilidade entre os sistemas de C2 das FS e o Sistema de Planejamento Operacional Militar

(SIPLOM) do MD, seria calcada em protocolo IP, modelo de dados *Joint Consultation, Command and Control Information Exchange Data Model* (JC3IEDM) [4] e Arquitetura Orientada a Serviços (SOA – *Service Oriented Architecture*). A partir desses três pilares foi desenvolvida, pelo projeto InterC2 a primeira versão do Barramento de Comunicação. Nessa primeira versão, a interoperabilidade é praticamente bidirecional entre os sistemas de C2, no sentido MD – Força (operacional-tático) e Força-MD (tático-operacional), conforme pode ser observado na Fig. 1, a seguir.

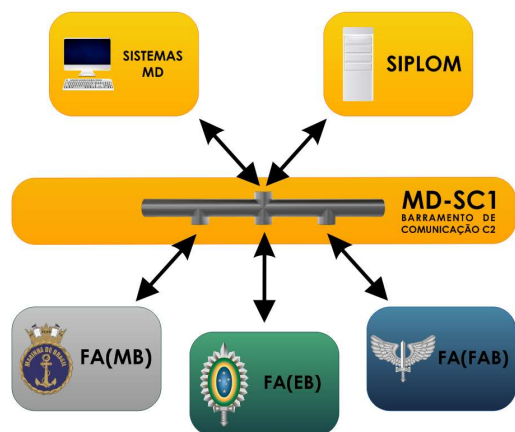


Fig. 1. Barramento de Comunicação

Em sua primeira versão, o Barramento de Comunicação contemplou a tramitação das informações de registro de operações militares, meios empregados e suas informações de localização, situação operacional e hostilidade.

Na segunda versão, estão sendo contempladas informações relacionadas ao planejamento da operação: ações, tarefas, matriz de sincronização e alvos, Fig. 2.

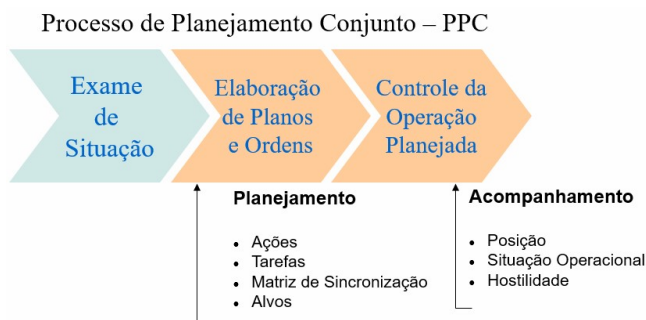


Fig. 2. Barramento de Comunicação e as etapas do PPC

O Barramento de Comunicação (*Enterprise Service Bus - ESB*) com tecnologia SOA é um sistema intermediário (middleware) baseado no JC3IEDM que permite a troca de dados automática entre sistemas por meio de mensagens ADEM (*Alternate Data Exchange Method*).

Finalmente, a construção do Barramento de Comunicação contribui para o atendimento de uma das capacidades desejadas para as Forças Armadas, constante na Estratégia Nacional de Defesa [5], que possui como uma de suas diretrizes a Interoperabilidade nas OpCj.

A. ARQUITETURA DO BARRAMENTO

De modo a garantir a interoperabilidade no presente e no futuro, a arquitetura do Barramento segue padrões de entidades com autoridade normativa. Dentre esses, podemos destacar:

- MIP: JC3IEDM e ADEM; e
- W3C e OASIS: XML, XSD, WSDL.

Todas as mensagens do Barramento Comunicação são mapeadas e persistidas em um banco de dados baseado no JC3IEDM.

Filas de mensagens, do tipo *Java Message Service* (JMS) [6], garantem o baixo acoplamento entre os módulos, a tolerância a falhas e o processamento estável das mensagens durante um período de intercâmbio intenso.

O modelo de operação do *software* do Barramento de Comunicação, baseado em trocas de mensagens, determina a sua forma de organização. Essa organização favorece ao padrão arquitetural de um processamento em estágios encadeados [7]. Mensagens são recebidas pelo sistema, verificadas, processadas e encaminhadas ao destinatário. Essa forma de organização condiz com a SOA, cujo fundamento é o desacoplamento entre as partes que se comunicam, permitindo flexibilidade para adaptação a novos requisitos ou integração a novos sistemas [8].

A troca de mensagens entre o Barramento de Comunicação e os sistemas de C2 é padronizada por contratos de serviços baseados em documentos no formato *Web Services Description Language* (WSDL). Os WSDL empregados estão baseados no método ADEM, do mesmo modo que os esquemas XML das mensagens. Os documentos WSDL são disponibilizados individualmente para cada uma das Forças e para os sistemas de C2 do MD. A modalidade de conversação empregada é a *Request/Response*.

A utilização do padrão JC3IEDM permite o emprego de uma simbologia comum, para garantir a interoperabilidade entre sistemas heterogêneos.

Além da questão da simbologia, respondida pela adoção do modelo de dados JC3IEDM e pelo método de troca de mensagens ADEM, é necessário um padrão semântico mínimo que permita o entendimento do contexto em que as mensagens estão sendo trocadas. Neste sentido, os tipos de objetos de interesse que são tramitados durante o processo de interoperabilidade entre os sistemas de C² das FS e o sistema de C² do MD, em uma operação militar, devem ser unificados e conhecidos por todos.

Em síntese, uma simbologia comum, um catálogo de tipos de meios navais, terrestres e aéreos e um catálogo de mensagens são a base para garantir a interoperabilidade das comunicações em OpCj.

III. RDS

O Programa Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa (RDS-Defesa), tem como objetivo desenvolver uma plataforma de RDS totalmente nacional, de forma a atender as necessidades das Forças Armadas, ampliando a

capacidade do país no domínio de tecnologias críticas relacionadas à segurança cibernética nacional, bem como gerar equipamentos interoperáveis para o atendimento das OpCj.

O Projeto RDS permite o desenvolvimento de uma infraestrutura segura de redes sem fio banda larga para comunicações estratégicas e tático-operacionais.

O RDS em desenvolvimento utiliza o padrão SCA (*Software Communications Architecture*) como camada de comunicação e integração das formas de onda com os componentes de hardware. O SCA é uma proposta do *Joint Tactical Radio System (JTRS)*[9] e que consiste em um *framework*, cuja finalidade é garantir a portabilidade em diferentes plataformas de hardware das chamadas Formas de Onda, o que permite a interoperabilidade entre diferentes sistemas de rádio do tipo RDS. O SCA define um conjunto de interfaces a serem utilizadas pelas formas de onda para a comunicação com componentes de hardware[10]. Essa padronização de interfaces faz com que as formas de onda desenvolvidas sejam portáveis para qualquer RDS que utilize SCA, possibilitando a criação de arranjos de empresas de desenvolvimento de formas de onda e fomentando a indústria nacional de defesa.

O RDS-Defesa contribui para a interoperabilidade nas comunicações táticas das FS, bem como para a atuação no espaço cibernético com liberdade de ação e segurança das comunicações[11].

A. ARQUITETURA DO RDS

O diagrama da Fig. 3 representa o recebimento/envio de uma forma de onda no RDS e as interações dos diferentes módulos envolvidos no processo com os sistemas operativos do Módulo da Plataforma Operacional.

1) *Módulos de RF e CCDA*: A Forma de Onda enviada através da transmissão de rádio chega ao sistema do rádio através do Módulo de Radiofrequência (RF) e é convertido de sua forma analógica para sua forma digital através do Módulo de Conversão Analógico-digital (CCDA), sistema constituído de um micro controlador dedicado a tarefa de conversão dos sinais analógicos recebidos e enviados pelo sistema de radiofrequência em sinais digitais a serem processados pelos vários sistemas do rádio.

2) *Módulo SCA*: Após a conversão a Forma de Onda é instalada no ambiente SCA, que provê uma camada de abstração dos recursos do rádio. Este ambiente SCA está previamente instalado e configurado no Sistema Operacional do Módulo de Processamento do rádio e possui uma separação lógica e física.

3) *Módulo da Plataforma Operacional*: O sistema do Módulo de Processamento possui três processadores com recursos dedicados que foram construídos para processar, cada qual, as informações de três sistemas distintos: o Sistema Operativo Preto, o Sistema de Segurança e o Sistema Operativo Vermelho.

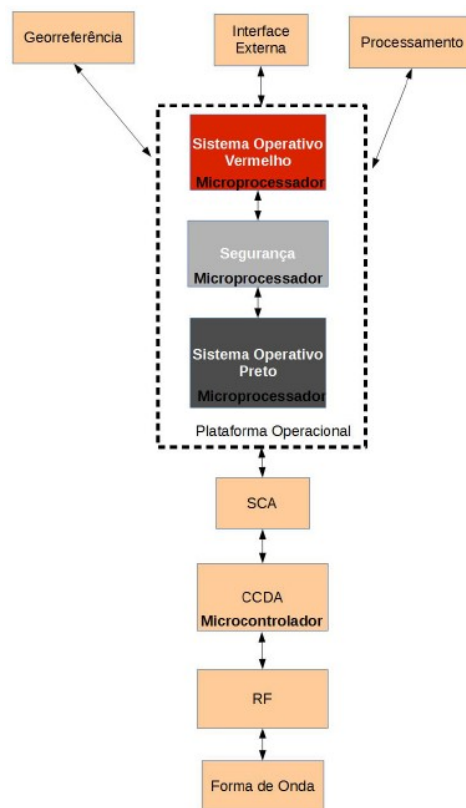


Fig. 3. Interação com os Sistemas Operativos

4) *Sistema Operativo Preto*: O Sistema Operativo Preto é constituído de um processador com recursos dedicados que roda um sistema operacional cujo o principal objetivo é dar apoio as funções do rádio que tratam de dados criptografados, ou seja, dados que acabam de ser recebidos ou que estão prontos para serem enviados a uma rede não segura, neste caso a transmissão via rádio.

5) *Sistema Operativo Vermelho*: De forma semelhante ao Sistema Operativo Preto, é constituído de um processador com recursos dedicados que roda um sistema operacional cujo o principal objetivo é dar apoio as funções do rádio que tratam de dados em aberto, ou seja, dados que estão sendo manipulados pelo usuário ou por sistemas em um ambiente seguro.

6) *Módulo de Segurança*: O Sistema de Segurança se encarrega de unir estes dois sistemas separados, é constituído de um processador com recursos dedicados e tem como principal objetivo criptografar mensagens que serão enviadas e descriptografar mensagens que serão recebidas, assim como determinar quais mensagens podem passar para o Sistema Operativo Preto em abeto, como por exemplo, mensagens de controle e configuração dos módulos do rádio.

7) *Módulos de Processamento, Interface e Georreferência*: O funcionamento destes sistemas garante à Forma de Onda acesso aos recursos de sistema (Módulo de Processamento), sincronização e localização (Módulo de Georreferência), e interação com o usuário e sistemas externos (Módulo de Interface Externa).

Essa arquitetura, aliada a um endereço IP em cada rádio permite a integração ao Barramento de Comunicação, utilizando mensagens ADEM.

IV. PROPOSTA DE INTEROPERABILIDADE

O cenário de interoperabilidade para a aplicação da solução proposta envolve os sistemas de C2 das FS (nível tático), o sistema de C2 do MD (nível estratégico/operacional) e RDS. Este cenário amplia a utilização do Barramento de Comunicação para uma versão funcional no nível tático, por meio da troca de mensagens padronizadas, tendo como infraestrutura de comunicação equipamentos rádio que seguem o paradigma RDS formando uma rede dados entre si.

Neste estudo, o objetivo a ser alcançado foi a ampliação da consciência situacional em uma operação militar. Assim, os sistemas de C2 e RDS contribuem para formação de uma consciência situacional compartilhada, em que as FS e o MD não teriam condições de alcançar isoladamente. Essa característica constitui um verdadeiro Sistema de Sistemas (SoS), o que amplifica a capacidade de resiliência das forças durante a operação militar. O modelo de comunicação é representado na figura a seguir.

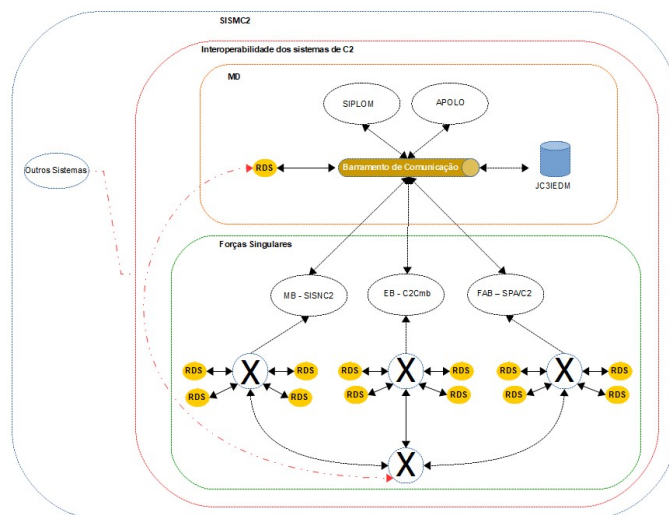


Fig. 4. Interoperabilidade como Sistema de Sistemas

Na Fig. 4, os domínios do MD e FS estão contidos no domínio da Interoperabilidade dos Sistemas de C2 que, por sua vez, está contido no domínio do SISMC2.

No domínio do MD estão os sistemas SIPLOM e APOLO (logística), ambos de nível estratégico/operacional. O Barramento de Comunicação também se encontra nesse domínio e permite a troca de mensagens entre os sistemas dos níveis estratégico/operacional e do nível tático.

No domínio das FS estão os sistemas de C2 de nível tático. A Marinha do Brasil (MB), o Exército Brasileiro (EB) e a Força Aérea Brasileira (FAB) possuem seus sistemas de C2 específicos. A troca de informação entre esses sistemas e os sistemas do nível estratégico/operacional ocorre por meio da transmissão de mensagens através do Barramento.

Uma vez que cada rádio RDS dentro do teatro de operações possui a capacidade de se comunicar com qualquer outro rádio RDS SCA compatível, independente da Força possuidora do equipamento, pode-se formar uma rede sem fio de comunicação conjunta, onde os rádios podem ser utilizados para repassar informações tanto analógicas quanto digitais (através do uso de Formas de Onda Digitais) entre as FS, de forma que, tanto os sistemas táticos quanto estratégicos de uma Força, possam receber informações vindas da rede de rádios de outra força, bem como o Barramento de Comunicação possa receber informações diretamente desta rede (ao se integrar os rádios com os sistemas de comunicação das Forças).

Através do uso de uma Forma de Onda Conjunta das Forças Armadas em um Sistema de Rádios Definidos por Software uma Força Singular pode auxiliar outra que por falhas operacionais ou ações inimigas esteja com uma interrupção em seus meios de comunicação. O link entre a unidade tática em campo com o seu respectivo sistema de Comando e Controle pode ser estabelecido através da rede de rádios operando de forma conjunta e redundante, sendo toda a comunicação e retransmissão feita de forma rápida e transparente, Fig. 5.

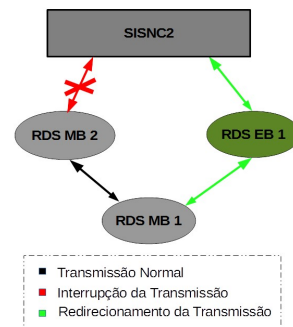


Fig. 5. Rede operando de forma conjunta e redundante

Esta abordagem pode ser estendida para qualquer sistema de comunicação de dados e voz, onde a rede de RDS possa ser utilizada de forma emergencial para cobrir perda de meios de conexão, garantindo por exemplo, o fluxo de dados e informações provenientes e enviadas ao comando estratégico através do Barramento de C2.

Uma vez que ainda não foi possível o teste com um RDS, o projeto Interc2 utilizou o sistema Pacificador acoplado ao Barramento para testar a viabilidade das comunicações táticas. Neste teste foram tramitadas mais de um milhão e oitocentas mensagens entre o sistema Pacificador e o SIPLOM sem perda.

A Fig. 6 apresenta um extrato das mensagens recebidas pelo SIPLOM, via Barramento de Comunicação, durante o exercício de teste, onde um dos equipamentos executando o sistema Pacificador transmitia sua posição e foi possível o acompanhamento do trajeto da viatura diretamente no SIPLOM. O equipamento estava transmitindo suas informações na área do Comando Militar do Oeste (CMO) e as informações estavam sendo recebidas automaticamente no ambiente de testes do CASNAV no Rio de Janeiro.

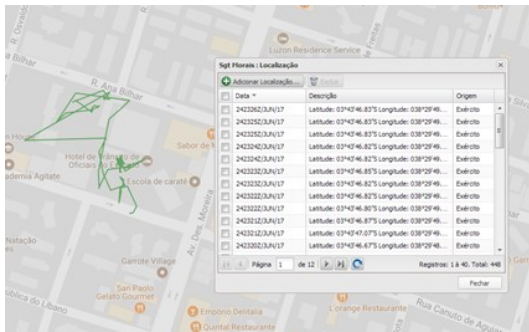


Fig. 6. Trâmite de Mensagens via Barramento de Comunicação

A Fig. 7 mostra um detalhe, ampliado, durante a operação, onde pode ser identificado o portador do equipamento naquele momento a pé. Essa figura exemplifica a capacidade de resolução do Barramento no nível tático. Essa granularidade, não necessária no nível estratégico-operacional, é vital no nível tático.



Fig. 7. Granularidade do Barramento de Comunicação

Na ocasião da realização dos testes no nível tático, vislumbrou-se a possibilidade de utilização do Barramento integrado a outros sistemas conforme pode ser visto na Fig. 8.



Fig. 8. Barramento de Comunicação integrado com outros sistemas

Embora não tenha sido possível o teste de interoperabilidade diretamente com um equipamento de RDS, visualiza-se como possível, desde que cada equipamento possua um endereço IP e implemente uma interface de comunicação (*endpoint*) com um WSDL no padrão ADEM.

V. CONCLUSÃO

O programa RDS-Defesa realiza pesquisa e desenvolvimento de soluções tecnológicas que implementem

a interoperabilidade nas comunicações táticas das FS. Já o projeto InterC2, com o desenvolvimento do Barramento de Comunicação, tem como objetivo realizar a interoperabilidade entre os Sistemas de C2 das FS e os do MD. Assim, ambos têm o viés para o atendimento da capacidade de interoperabilidade em uma OpCj, desejada para as Forças Armadas, constante na Estratégia Nacional de Defesa.

Este artigo apresentou uma proposta de interoperabilidade de sistemas de C2, do nível tático, empregando equipamentos rádio que seguem o paradigma RDS integrado ao SIPLOM, nível estratégico/operacional, via troca de mensagens padronizadas através do Barramento de Comunicações.

Foi demonstrada a possibilidade de utilização de uma rede de RDS, através do uso de uma Forma de Onda Conjunta, no apoio a troca de informações entre as FS, de maneira que tanto os sistemas táticos quanto estratégicos mantenham uma consciência situacional compartilhada e atualizada, objetivando aprimorar o processo de tomada de decisão do ciclo OODA.

Mostra-se necessária a realização de testes utilizando o RDS e o Barramento de Comunicação para corroborar a proposta apresentada.

REFERÊNCIAS

- [1] Ministério da Defesa, “MD30-M-01 - Doutrina de Operações Conjuntas”, 1 ed, vol. 1, Brasília, Brasil, 2011.
- [2] Ministério da Defesa, “MD31-M-03 - Doutrina para o Sistema Militar de Comando e Controle”, Brasília, 2015. Disponível em: http://www.defesa.gov.br/arquivos/legislacao/emcfa/publicacoes/comando_controle/md31_m_03_dout_sismc_3_ed_2015.pdf. Acesso em: 07/05/2018.
- [3] Prado Filho, Hildo Vieira et al, “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, VOL.34 N 1, 2017.
- [4] Botelho, Tomás A. T. et al, “Interoperabilidade de Comando e Controle: Barramento de Comunicação SOA”, XVII SIGE, 2015.
- [5] Ministério da Defesa, “Estratégia Nacional de Defesa”. Disponível em: http://www.defesa.gov.br/projetosweb/estrategia/arquivos/estrategia_de_fesa_nacional_portugues.pdf. Acesso em 27/05/2015.
- [6] Oracle, “The JMS Programming Model”, disponível em: <http://docs.oracle.com/javaee/6/tutorial/doc/bnceh.html>. Acesso em: 13/06/2018.
- [7] FOWLER, Martin et al, “Patterns of Enterprise Application Architecture”, Addison Wesley, 2002.
- [8] SWEENEY, RICK. “Achieving Service-Oriented Architecture”, Wiley, Inglaterra, 2010.
- [9] Joint Program Executive Office, “Software Communications Architecture Specification V 2.2.2”, Space and Naval Warfare Systems Center San Diego, San Diego, CA, 2006.
- [10] KOVARIK, V., “Software defined radio: The Software Communications Architecture”, Wiley, Inglaterra, 2007.
- [11] CASTELLO BRANCO, M. G. et al, “Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa – Visão geral das primeiras contribuições do CPqD”, cad. CPqD Tecnologia, Campinas, v. 10, núm. esp., p. 9-16, 2014.