

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

Hildo Vieira Prado Filho, *Juraci Ferreira Galdino e David Fernandes Cruz Moura

Centro Tecnológico do Exército (CTEx)

Av. das Américas, 28705 - Guaratiba, Rio de Janeiro - RJ, 23020-470

*jgaldino@ctex.eb.br

RESUMO: Este artigo analisa o processo de tomada de decisão para a execução do Projeto RDS-Defesa, voltado à P&D de rádios definidos por software no Brasil. Além disto, o artigo destaca a importância, influência e resultados advindos do emprego do modelo de tríplice hélice no aludido projeto. A partir da resposta a questões de cunho norteador, o artigo destaca os ganhos advindos ao Projeto RDS-Defesa com a estratégia de P&D em lugar da aquisição de rádios importados e a importância do modelo de tríplice hélice para o sucesso do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Pesquisa e Desenvolvimento. Inovação. Rádios Definidos por Software. SCA. Tríplice Hélice.

ABSTRACT: This article analyzes the decision-making process for the implementation of RDS-Defesa Project, a Brazilian R&D effort focused on software defined radios. In addition, the article highlights the importance, influence and results arising from the employment of the triple helix innovation model in the afore mentioned project. As a response to several guiding issues, the article highlights the RDS-Defesa Project gains from the adoption of a R&D strategy in place of merely purchasing imported radios, as well as the importance of the triple innovation helix model to project success.

KEYWORDS: Research and Development. Innovation. Software Defined Radios. SCA. Triple Helix.

1. INTRODUÇÃO

Resposta simples para problemas complexos consiste em uma ação temerária. Nada mais verdadeiro do que a sentença anterior para nortear a análise e a tomada de decisão em temas afeitos ao Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação das Forças Armadas, como aquelas relacionadas à aquisição de Produtos de Defesa (PRODE) no mercado internacional ou à realização de pesquisa e desenvolvimento nacionais para obtenção de PRODE. Tais decisões são complexas, pois podem causar reflexos nas diversas expressões do Poder Nacional.

Esse dilema é abordado neste artigo, considerando como caso de estudo a área de rádio para comunicações táticas das Forças Armadas do Brasil, em que há ampla oferta de produtos no mercado internacional, mas na qual foi iniciado o Programa Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa (RDS-Defesa), um amplo programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D) nacionais, sob a responsabilidade do Centro Tecnológico do Exército (CTEx), Instituto de Ciência e Tecnologia orgânico do Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro, cujo objetivo é realizar o desenvolvimento de rádios para as comunicações táticas das Forças Armadas do Brasil.

Com grande expectativa de geração de diversas inovações e consciente dos enormes desafios a serem enfrentados ao longo de uma P&D em tema que se encontra no estado da arte, nortear a equipe executora do programa em comento o princípio de que inovação, em síntese, consiste em uma mudança significativa de produtos e processos. Assim, faz-se necessária a adoção de novas estratégias, não só para os Produtos de Defesa, mas também na forma de criação e desenvolvimento dos PRODE.

Dentre as alternativas existentes de inovação na forma de criação e desenvolvimento de produtos, nas últimas décadas, destaca-se o modelo de inovação em tríplice hélice. Desenvolvido por Etzkowitz e Leydesdorff [1], este modelo se baseia no estreitamento das relações entre Indústria, Academia e Governo, visando à produção de novos conhecimentos, à inovação tecnológica e ao desenvolvimento econômico.

O Centro Tecnológico do Exército, como Instituição de Ciência e Tecnologia (ICT), que já tem se valido deste modelo de inovação como princípio norteador da pesquisa e desenvolvimento de seus projetos, não apenas o adotou na condução do RDS-Defesa, mas também buscou aprofundar e aprimorar o emprego desse modelo na condução desse projeto.

Este artigo tem por objetivo responder as seguintes perguntas: por que iniciar um programa de pesquisa e desenvolvimento de equipamentos rádios para comunicações táticas, diante da disponibilidade no mercado internacional de soluções avançadas tecnologicamente? Por que escolher a tecnologia RDS para nortear esse desenvolvimento? Como viabilizar um desenvolvimento de longo prazo e de alto investimento? Como reduzir os riscos desse desenvolvimento? Como o modelo de tríplice hélice vem contribuindo ao Projeto RDS-Defesa?

O restante deste artigo está dividido em 5 seções, assim organizados: a seção 2 discute as razões para iniciar um programa de P&D de rádios voltados para comunicações táticas. A seção 3 discute a escolha do paradigma tecnológico que norteia as atividades de P&D do Programa RDS-Defesa. A seção 4 apresenta sucintamente os objetivos, as metas, as condicionantes, os ciclos de desenvolvimento e atores envolvidos no Programa. A seção 5 analisa a aplicação do modelo de inovação de tríplice hélice no Projeto RDS-Defesa como estratégia de desenvolvimento para reduzir os riscos do projeto, que é de longo prazo e de alta complexidade tecnológica. Por fim, a seção 6 apresenta as conclusões do artigo.

2. POR QUE INICIAR UM PROGRAMA DE P&D EM RÁDIOS?

2.1 Importância do provimento de meios de comunicação sem fio para as comunicações táticas e meios de obtenção

Diversos documentos que expressam o pensamento político e estratégico das Forças Armadas do Brasil, tais como a

Estratégia Nacional de Defesa [2], o Livro Branco de Defesa Nacional [3] e o Catálogo de Capacidades do Exército - (EB20-C-07.001) [4], evidenciam a necessidade do provimento de meios de comunicações táticas sofisticados. Em particular, Comando e Controle, Interoperabilidade e Superioridade de Informações são algumas das Capacidades Militares Terrestres previstas no Catálogo de Capacidades do EB que dependem fundamentalmente de meios de comunicações táticos eficientes, sofisticados e seguros.

Para se desenvolver essas capacidades, é necessária a disponibilidade de meios de comunicações capazes de realizar a transmissão segura de diversas fontes de informação (voz digitalizada, imagem, vídeo, dados, mensagens etc.), operar em diversas faixas de frequências, como as de HF, VHF e UHF (particularmente entre 3 MHz e 512 MHz), estabelecer redes rádio e operar em diversos cenários de comunicações, caracterizados pelas mais variadas condições fisiográficas, operacionais e condicionantes doutrinárias.

Dada a caracterização da importância de se mobiliar as Forças Armadas com sofisticados equipamentos para provimento de comunicações táticas interoperáveis, confiáveis e seguras, cabe discutir a forma de obtenção mais apropriada para aparelhar as Forças Armadas com tais equipamentos: aquisição ou P&D.

A despeito do cenário atual, que apresenta poucas alternativas no mercado nacional de rádios militares para atender às demandas de comunicações táticas brasileiras, existem diversos fornecedores no mercado internacional que disponibilizam uma ampla gama de equipamentos desse tipo, os quais possuem as mais variadas características de desempenho, peso, tamanho e funcionalidades. Em especial, destaque-se que não se tratam de produtos negados para as Forças Armadas do Brasil. Assim sendo, a P&D se apresenta como uma alternativa de obtenção de rádios táticos e não uma atividade necessária e preempatória para se mobiliar as Forças Armadas Brasileiras com tais equipamentos.

Adicionalmente, as atividades de P&D apresentam características que podem ser entendidas como desvantagens para sua adoção. A título de ilustração, é imperioso ressaltar que as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento envolvem: elevados riscos de obtenção da tecnologia no prazo, escopo e custo previstos, sobretudo quando o objeto da P&D é de alta complexidade tecnológica; elevados custos; e longo prazo para se realizar todo o ciclo de P&D, consistindo de pesquisas e desenvolvimento de protótipos, avaliação de protótipos, produção e avaliação de lote piloto.

O processo de domínio de todo o ciclo de pesquisa, desenvolvimento e produção de produtos de elevadíssimo valor agregado pode ser bastante demorado. De fato, caminhar na “escada tecnológica” seguindo uma trajetória de acumulação de capacidade tecnológica é laborioso e pode levar até 30 anos, particularmente quando se pretende passar de um patamar de mero usuário de uma determinada tecnologia de elevada complexidade até um nível caracterizado pelo domínio da capacidade de P&D e engenharia para desenvolver e implantar novas tecnologias, impulsionando assim a fronteira tecnológica internacional [5].

Portanto, a primeira vista, esse processo parece não ser adequado para atender demandas prementes em um curto prazo. Nesses casos, a aquisição mediante importação de equipamentos para atender as capacidades mínimas das Forças Armadas pode representar uma forma de obtenção

mais apropriada.

Em síntese, confrontando as facilidades de aquisição de rádios para comunicações táticas no mercado internacional com as incertezas e desvantagens da P&D da análise superficial supra, pode-se concluir, em princípio, que não há vantagens em se realizar P&D de rádios destinados ao provimento de comunicações táticas para as Forças Armadas do Brasil. Então, resta a pergunta: por que realizar a P&D de rádios?

Como princípio norteador, considere-se a seguinte premissa: apresentar resposta simples para problemas complexos é no mínimo uma ação temerária.

Com base na importância do tema, é notório que a resposta dessa questão é complexa e também deve compreender outros aspectos, relacionados às expressões econômica, militar e científico-tecnológica do Poder Nacional. Dentre tais aspectos, registrem-se a evolução tecnológica no setor das comunicações sem fio e seus reflexos no campo de batalha; a evolução do pensamento militar nas comunicações táticas; o avanço da Cibernética e seus reflexos às comunicações táticas, mormente no tocante à segurança; e a capacidade tecnológica internalizada na academia e indústria brasileiras para empreender um desenvolvimento sofisticado na área de radiocomunicações militares.

Em relação à evolução tecnológica no setor e seus reflexos no campo de batalha, tem-se que, em um passado remoto, as funcionalidades dos rádios eram totalmente projetadas por componentes eletrônicos como, por exemplo, o rádio RY-20 do Exército Brasileiro. Já nas duas últimas décadas do século passado, surgiram os rádios configuráveis por software, caso do rádio M3TR, da fabricante Rohde & Schwarz, em uso pelas tropas brasileiras. No entanto, a despeito da flagrante evolução tecnológica introduzida, esta segunda geração de equipamentos rádio deixa de atender a diversos aspectos imprescindíveis para o judicioso emprego no campo de batalha, como a capacidade de atualização de acordo com as condicionantes operacionais, a garantia de provisão de mecanismos robustos de segurança e a possibilidade de reconfiguração para emprego em diferentes cenários de comunicações e com equipamentos de outros fabricantes em operações conjuntas e combinadas – este último, evocando o paradigma da interoperabilidade.

Com base nas necessidades elencadas supra, nessa escala evolutiva, surgiu a posteriori o Rádio Definido por Software (RDS), no qual funcionalidades que anteriormente eram projetadas em hardware, passam a ser definidas via software. Em um RDS, à luz das evoluções nas áreas de Mecânica, Eletrônica, Computação, Processamento Digital de Sinais e Telecomunicações, o usuário não apenas tem a possibilidade de escolher formas de onda (padrões de comunicações), mas também de introduzir novas formas de onda no Teatro de Operação, conferindo vantagens em termos de capacidade de atualização, comando, controle, inteligência, segurança e interoperabilidade.

Cabe destacar que, embora as principais empresas internacionais que atuam no setor de rádios para comunicações estratégicas e táticas já apresentem em seus portfólios equipamentos rádio que seguem o paradigma RDS, este assunto encontra-se em plena evolução. Muitas pesquisas aplicadas voltadas para essa área estão em andamento nas principais universidades, centros de pesquisas e Forças Armadas do mundo. Fruto desse esforço, muitas inovações vêm ocorrendo no setor em consequência dos enormes avanços em

sistemas embarcados, conversão analógica digital, antenas, transmissão digital, processamento digital de sinais, arquitetura de software e na capacidade de processamento de dispositivos, tais como os Processadores de Uso Geral. Assim, é imperioso destacar a trajetória tecnológica atualmente em curso na área de comunicações táticas, entendida como o movimento de pesquisa, desenvolvimento e inovação em andamento em instituições governamentais, centros de pesquisa acadêmicos e grupos industriais ao redor do mundo – com os consequentes benefícios econômicos daí advindos para as sociedades e governos que adotam a estratégia de P&D em lugar da mera aquisição de equipamentos.

2.2 Trajetória, Dependências e Oportunidades em Comunicações Táticas

A trajetória tecnológica na área de comunicações sem fio é marcada pela tendência da supremacia das técnicas de transmissão digital perante os mecanismos de transmissão analógica. Como resultado desse processo, até mesmo as informações que são naturalmente geradas em formato analógico, como, por exemplo, os sinais de voz, são digitalizados, comprimidos e transmitidos utilizando técnicas de modulação digital. Essa tendência é motivada pelas inúmeras vantagens das técnicas digitais em relação às analógicas [6]. No caso específico das comunicações militares, dentre as várias vantagens dos mecanismos de transmissão digital em relação aos analógicos, destaca-se a possibilidade de utilização de técnicas de criptografia, conferindo assim maior segurança às comunicações de sinais de voz.

Outra importante tendência nessa área é o aumento progressivo da utilização de software embarcado. De acordo com essa tendência, os equipamentos rádio utilizam cada vez mais hardware de uso geral e as funcionalidades que esses equipamentos oferecem são executadas por componentes de software [7].

Essas tendências tornam os equipamentos mais flexíveis, mais sofisticados e capazes de atender demandas cada vez mais exigentes do avanço doutrinário na área das comunicações táticas, bem como impulsionam o próprio avanço doutrinário diante das inovadoras possibilidades dos equipamentos. No entanto, a utilização de equipamentos RDS sofisticados importados pode apresentar baixo desempenho nos cenários nacionais e uma grande vulnerabilidade, quase sempre despercebida por especialistas em estratégia, doutrina, logística e engenheiros: o aumento da dependência tecnológica, que se expande além da aquisição, passando a abranger todo o ciclo de vida do produto.

O aumento dessa dependência pode ser verificado analisando-se vários aspectos. Em primeiro lugar, é importante ressaltar que o Brasil não é um contumaz comprador de rádios, quando comparado com os principais países, por exemplo, aqueles que possuem assento no Conselho de Segurança da ONU, aspiração da política externa nacional. Assim sendo, os equipamentos importados não são concebidos para atender requisitos da realidade fisiográfica e dos cenários de emprego nacionais, algo imperioso para um judicioso projeto de sistemas de comunicações, conforme exposto em [8].

Outrossim, é imperioso ressaltar que o aumento da velocidade de processadores digitais e o emprego de técnicas de processamento digital de sinais em frequências cada vez mais elevadas fazem com que gradativamente mais

funcionalidades do rádio sejam executadas por softwares. Com isso, as manutenções necessárias ao longo do ciclo de vida desses produtos serão principalmente manutenções e atualizações de softwares, as quais somente podem ser realizadas pelos próprios desenvolvedores das formas de onda – que, no atual cenário, são, não por acaso, os mesmos fabricantes dos rádios. Assim, descortina-se um perigoso e sensível cenário de dependência estratégica, no qual perguntas restam em aberto: em uma situação de crise ou de guerra, os fornecedores internacionais terão interesse em realizar tais manutenções? Caso afirmativo, tais empresas prestarão assistência técnica no Teatro de Operações? Ainda assumindo como possível a prestação desse serviço, quanto isso custará? Por fim, o Brasil terá condições de arcar com tais custos?

Outro aspecto que merece atenção, fortemente associado aos aspectos tecnológico e estratégico e que se constitui em um novo tipo de dependência e de ameaça é a Cibernética. Sob este novo paradigma de desenvolvimento de RDS, não é possível descobrir quais os softwares foram embarcados em rádios adquiridos, nem tampouco quais são as suas funcionalidades. Além disto, os clientes meramente compradores não dispõem de recursos para identificar (muito menos analisar ou estudar) as vulnerabilidades (intencionais ou não) dos rádios ou defesas previstas para mitigar ataques cibernéticos.

No cenário em comento, à luz da evolução tecnológica em curso, baseada na progressiva substituição de funcionalidades executadas por hardware por componentes de software, a adoção de um modelo de importação de sofisticados equipamentos rádios com forte componente de software embarcado e a utilização desses rádios formando redes de comando e controle traz em seu bojo uma importante vulnerabilidade estratégica à luz da dependência cibernética subjacente.

A título de ilustração, rádios com tais características podem sofrer diversos tipos de ataques cibernéticos visando assumir remotamente o controle do rádio, realizar negação de serviço, acessar dados modificados ou até mesmo modificar tais dados, conforme sumarizado na Tabela 1, extraída de [9].

Os efeitos desses ataques podem ser potencializados pelas vulnerabilidades do rádio, as quais podem ser introduzidas por diversas razões. Elas podem ser introduzidas intencionalmente no intuito de reduzir custos de P&D a fim de lançar no mercado um produto com vantagem competitiva no tocante ao valor. A questão da cibernética pode não ter sido devidamente valorizada na fase de concepção e de execução do projeto, até mesmo por desconhecimento dos projetistas por este ser um assunto novo e com poucos especialistas no mundo. Por fim, longe de ser exaustivo na apresentação dos cenários, podem ter sido introduzidas vulnerabilidades ou aplicativos (softwares) para serem explorados intencionalmente pelo fabricante em caso de emprego real dos rádios.

Os efeitos da cibernética na segurança de rádios táticos baseados em software foram discutidos detalhadamente em [9], [10] e [11]. Nesses trabalhos conclui-se que as ameaças cibernéticas são mais nefastas do que as tradicionalmente advindas da Guerra Eletrônica. Naquele caso, o atacante pode assumir o controle da rede de comando e controle, envolvendo vetores navais, terrestres e aéreos, cuja infraestrutura física de comunicação seja baseada nesse tipo de

equipamento, bem como comprometer a própria segurança física dos vetores que compõem a rede (embarcações, caças e carros de combate).

Tabela 1: Classes de ataques e vulnerabilidades em RDS táticos.

Classes de Ataques	Ataques/Vulnerabilidades
Controle do Rádio	Injeção em software - Overflow em memória física - Vulnerabilidades na atualização de formas de onda - Vulnerabilidades na inicialização
Personificação	Repetição - Vulnerabilidades em protocolos Brechas de autenticação Falsificação de Posicionamento GPS
Modificação não autorizada de dados	Injeção em software Injeção em hardware - Vulnerabilidades de implementação; - Cavalos de troia em hardware; - Clonagem de dispositivos
Acesso não autorizado 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

Dessa forma, como conviver com tal dúvida? Em síntese, apenas o desenvolvimento do hardware e do software embarcado nesses equipamentos é que permite o tratamento adequado do assunto, com a inclusão das defesas cibernéticas necessárias para obter-se o controle dessas ameaças, ou até mesmo para ter-se conhecimento das vulnerabilidades para serem devidamente tratadas com o desenvolvimento de doutrina específica para combatê-las ou mitigá-las.

Além das questões de ordem estratégica discutidas previamente, a área de comunicações táticas e estratégicas descortina diversas oportunidades na expressão econômica do Poder Nacional. Em primeiro lugar, seu desenvolvimento encontra similaridade com o requerido em diversos sistemas de comunicações sem fio (comunicações via satélites, comunicações móveis, comunicações aplicadas aos órgãos de segurança pública, WiMax e Wi-Fi). Assim sendo, diversos produtos que podem ser ofertados ao mercado civil podem ser gerados como spin-off dos principais resultados das pesquisas e desenvolvimentos realizados no bojo de um programa de P&D de rádios táticos, visto os severos requisitos que devem ser atendidos neste caso em relação às aplicações civis aqui listadas.

Adicionalmente, vale mencionar que a P&D de rádios táticos pode viabilizar a indústria de defesa na área, face à grande demanda das Forças Armadas do Brasil com relação a esse tipo de equipamento. A título de ilustração, tem-se que todos os projetos estratégicos em curso nas Forças Armadas requerem o emprego desse tipo de equipamento em alguma medida. Destaca-se também que um levantamento recente realizado pelo Ministério da Defesa com relação

à necessidade de aquisição de equipamentos rádios para as comunicações táticas das Forças Armadas apontou uma demanda de cerca de 90 mil rádios em um horizonte de 15 anos. São equipamentos cujos custos unitários podem variar de 7 mil até 500 mil reais, dependendo das especificações técnicas. Em resumo, trata-se indubitavelmente de um mercado bilionário e de uma grande oportunidade de criação de empregos e de divisas para o Brasil, pois a adoção de equipamentos nacionais pelas Forças Armadas do Brasil, poderá facilitar a exportação desses equipamentos.

Além da oportunidade supracitada no campo econômico, a possibilidade de se realizar a P&D nessa área apresenta também oportunidades na expressão militar do Poder Nacional. Tal qual já identificado em programas relacionados ao tema em diversos países [7], tal esforço de P&D está intimamente relacionado à capacidade de evolução conjunta da tecnologia com doutrina, mediante o desenvolvimento de equipamentos aderentes às necessidades nacionais. Destaque-se que obter essa capacidade é fundamental para a evolução doutrinária no setor, sobretudo no momento histórico atual caracterizado pela Era da Informação e pela alta conectividade de uma Sociedade em Rede [1]. Essa autonomia e capacidade só podem ser atingidas com a realização de pesquisa e desenvolvimento no setor.

Acumular capacidade tecnológica na área de pesquisa, desenvolvimento e produção de temas sensíveis é um importante aspecto para a mobilização e dissuasão. Assim sendo, essa capacidade, por si só, é importante no tocante à Expressão Militar do Poder Nacional.

Conclui-se que o Brasil, pela sua envergadura política e econômica, por sua dimensão e com as riquezas naturais que possui não pode ficar a mercê de fornecedores internacionais em um tema com os desdobramentos estratégicos, doutrinários, científicos, tecnológicos e econômicos aqui discutidos. Logo, postula-se que o Brasil deve planejar o atendimento de demandas futuras com os equipamentos nacionais, substituindo o ciclo hoje em curso de mera aquisição de equipamentos importados. Destaque-se que este pensamento está perfeitamente alinhado com a decisão estratégica do Ministério da Defesa e, em particular, com as ações decorrentes desencadeadas pelo Exército Brasileiro e pela Marinha do Brasil com vistas ao domínio de todo o ciclo de pesquisa e desenvolvimento de sofisticados equipamentos de comunicações táticas, bem como de incentivo à Base Industrial de Defesa, mediante o licenciamento para a indústria da tecnologia desenvolvida no bojo das ICT militares. Com isso, vislumbra-se em médio prazo a disponibilidade da produção de equipamentos rádio no mercado nacional, bem como da oferta de serviços correlatos de valor agregado, como os de atualização, aperfeiçoamento, adaptação e manutenção de software.

3. POR QUE EMPREGAR O PARADIGMA RDS?

Tendo sido caracterizada a importância de se iniciar um programa de P&D na área de rádios voltados para as comunicações táticas, deve-se então responder a seguinte pergunta: qual paradigma tecnológico é apropriado para esse empreendimento, tendo em vista os requisitos, os objetivos e as capacidades de Interoperabilidade, Comando e Controle e Superioridade de Informações que se pretende desenvolver?

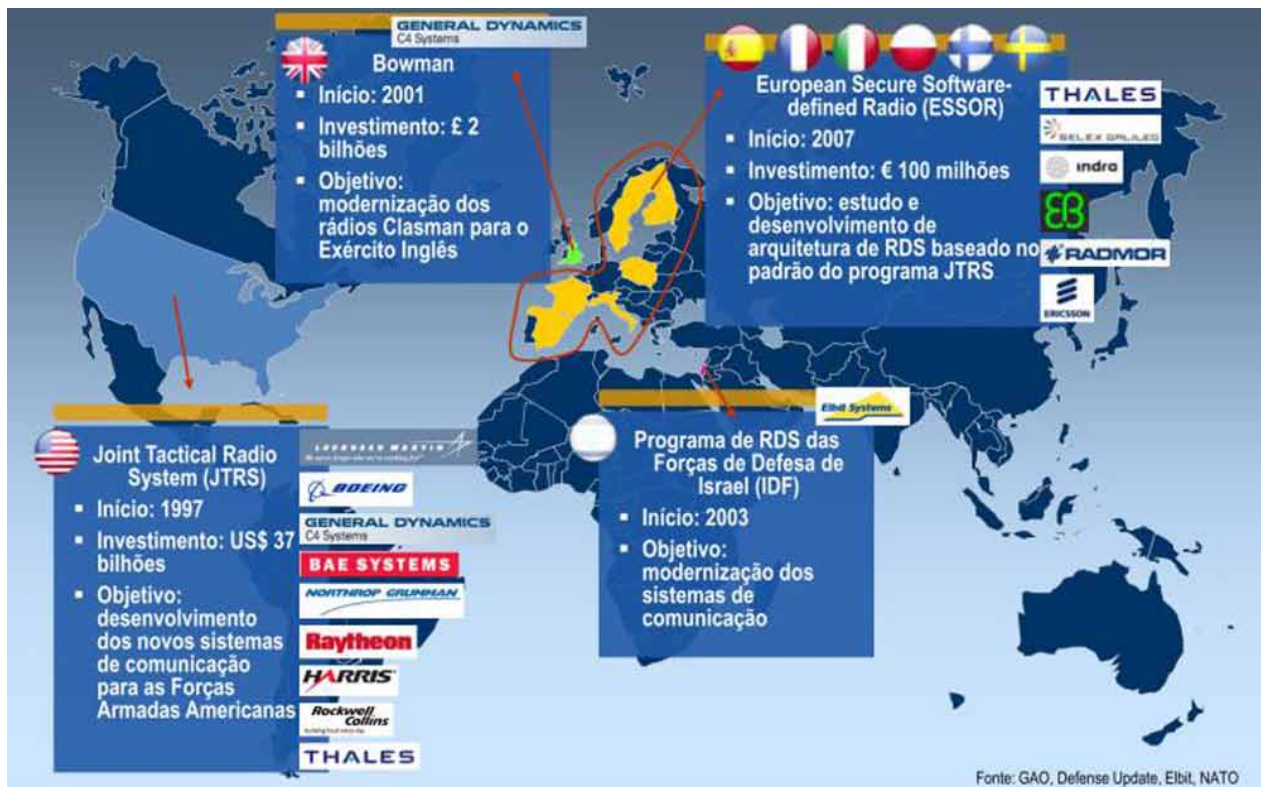


Figura 1: Principais programas de RDS no mundo.

Evidentemente em razão da supremacia das técnicas de transmissão digital em relação às técnicas de comunicação analógica, optou-se pelo foco no desenvolvimento de mecanismos de transmissão digital, até mesmo de sinais de voz, mediante a adoção de conversão Analógica para Digital e codificação de fonte. No entanto, para preservar a interoperabilidade com sistemas legados que operam com modulações analógicas, optou-se por disponibilizar também esse tipo de técnica de transmissão.

No entanto, diferentemente dos sistemas de transmissão analógicas, os sistemas digitais são caracterizadas por diversos parâmetros, técnicas e protocolos de transmissão específicos para cada cenário de comunicação. Tal característica, aliada às variadas condições fisiográficas, operacionais e condicionantes doutrinárias, determina o surgimento de uma grande quantidade de protocolos de comunicações, de técnicas de acesso ao meio, de mecanismos de segurança e codificadores de fonte proprietários dos grandes desenvolvedores do setor. Como consequência, surgem equipamentos rádio especializados para os mais diversificados cenários operacionais e que não interoperam entre si, em razão das soluções proprietárias e protegidas por patentes e segredos industriais [12].

Cabe destacar que prover sistema de comunicações digitais capazes de promover a interoperabilidade entre as Forças Armadas, entre estas e os órgãos de segurança pública e as Forças Auxiliares, bem como entre Forças Armadas de países distintos na condução de operações conjuntas é um objetivo perseguido pelos governos de muitos países. Isso se justifica facilmente, posto ser condição indispensável para que as diversas Forças Armadas disponham da capacidade de operação em rede e de forma segura. Diversos países perseguem tal objetivo ao redor do mundo – inclusive o Brasil, conforme exposto na Estratégia Nacional de Defesa [1], a despeito do destaque devido aos Estados Unidos da América como país de maior investimento no setor.

Assim, descortinam-se algumas soluções para este problema. A primeira delas é dispor-se de diversos equipamentos, em variedade suficiente para prover as comunicações com cada sistema de cada Força Armada, órgão de segurança pública e forças auxiliares. Obviamente, essa solução é bastante onerosa, além de apresentar inconvenientes logísticos e operacionais.

A segunda abordagem é utilizar apenas um único fornecedor para as comunicações táticas e estratégicas do país. Essa abordagem representa grande vulnerabilidade estratégica e desdobramentos negativos às expressões do poder nacional – especialmente quando se trata de equipamentos meramente adquiridos de fabricantes estrangeiros, à luz de todo o exposto na Seção 2 deste artigo.

Em terceiro lugar, pode-se empregar elementos centrais de interoperabilidade, tais como o elemento integrador adotado nas redes rádio de pacotes descritas em [13]. Tal elemento, usualmente denominado gateway, é dotado de dispositivos de hardware e software capazes de promover a devida conversão dos mecanismos de comunicação adotados pelas diversas redes que compõem um determinado sistema de comunicações, em qualquer escalão. A despeito da popularidade de tal solução, é forçoso destacar que tal abordagem é vulnerável do ponto de vista operacional, uma vez que esses elementos centrais estabelecem um grande número de enlaces, sendo, portanto, facilmente identificados pelas técnicas de guerra eletrônica e de análise de tráfego de dados. Assim sendo, são fáceis de serem alvejadas e retidas de operação no início de um conflito armado. Tal ação poderia destruir a interoperabilidade entre os diversos escalões e armas de uma Força Armada, trazendo dificuldades operacionais e reflexos maléficos na vontade de combater [14].

Em resumo, soluções mais seguras apontam para a necessidade de se dispensar um ponto central de interoperabilidade. Nesse contexto destacam-se os rádios que seguem o paradigma RDS.

Segundo o Wireless Innovation Forum, sociedade que congrega os principais fabricantes de equipamentos rádio e representantes das Forças Armadas de todo o mundo¹, o RDS é um conjunto de tecnologias de hardware e de software em que alguma ou todas as funções do rádio são executadas através de software ou firmware atualizáveis em tecnologias de processamento programável.

Pesquisas e esforços de desenvolvimento voltados para a obtenção de meios de comunicações táticas interoperáveis e capazes de atuar em rede e que seguem o paradigma RDS pululam o globo terrestre. O mais importante empreendimento com esse propósito é o pioneiro programa JTRS (Joint Tactical Radio System), programa voltado para o desenvolvimento de Rádios Definidos por Software para atender necessidades das Forças Armadas norte-americanas, provendo equipamentos nas versões veicular, handheld e manpack para aplicações terrestres, navais e aeronáuticas [15]. Esse programa foi iniciado em 1997 e previa um orçamento de 37 bilhões de dólares.

A partir do lançamento do JTRS, outros países investiram em empreitadas semelhantes, após identificarem as vantagens advindas da mudança de paradigma em relação às abordagens anteriores. Dentre estes, destacam-se o Reino Unido (programa BOWMAN, iniciado em 2000 e orçado em 2 bilhões de libras) e o consórcio ESSOR (European Secure Software Defined Radio) entre Finlândia, França, Itália, Polônia, Espanha e Suécia (início em 2007 e orçado em 100 milhões de euros). Além destes, podem ser citados os programas nacionais da Alemanha (SVFuA), França (CONTACT), Itália (Forza NEC), Suécia (GTRS), Índia, Coreia do Sul, Emirados Árabes Unidos e Cingapura. Um extrato com informações de alguns desses programas encontra-se na Figura 1.

Em razão de tais investimentos e das iniciativas das empresas internacionais que dominam o setor, a tecnologia de radiocomunicação passa por uma mudança de paradigma com importantes reflexos para as comunicações militares sem fio em razão do advento de sofisticadas tecnologias de transmissão baseadas nos conceitos de Rádio Definido por Software (RDS) e Rádio Cognitivo.

Em particular, o conceito RDS, conforme definição supracitada, é bastante amplo e envolve desde projetos simples com hardware dedicados e software embarcados atrelados ao hardware, até projetos mais sofisticados que empregam hardware de uso geral e a adoção de uma arquitetura de comunicação interna que facilita a interoperabilidade e o porte de protocolos de comunicações (formas de onda). 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 sem a necessidade de substituição de hardware.

Tais vantagens são oriundas do grande diferencial do paradigma de desenvolvimento dos RDS de melhor desempenho no mercado internacional para aplicações táticas nos dias atuais – o emprego do padrão Software Communications Architecture (SCA), adotado em todos os programas nacionais e supranacionais citados anterior-

mente [16].

Conforme descrito em [12], o SCA é uma infraestrutura de software aberta, desenvolvida pelo Departamento de Defesa dos EUA, através do programa JTRS, voltada para o desenvolvimento de Rádios Definidos por Software. Dentre outros aspectos, o padrão SCA foi desenvolvido como uma arquitetura escalável que especifica os mecanismos para criar, implantar, gerenciar e interconectar aplicações rádio, baseadas em componentes. Adicionalmente, ele pode ser utilizado em plataformas distribuídas, podendo ser empregado em diversos tipos de processamento, como processadores digitais de sinais (DSPs), circuitos integrados de rápida configuração (FPGAs, do inglês Field Programmable Gate Array) e, até mesmo, processadores de uso geral (GPP), dentro de um mesmo rádio.

Em síntese, a SCA foi proposta para aumentar consideravelmente a interoperabilidade de comunicação de sistemas rádio, bem como reduzir o tempo de implantação e custos de desenvolvimento de aplicações rádio. Além disto, é capaz de suportar plataformas de diferentes capacidades, indo de centros de comunicação fixos até dispositivos portáteis. Essa escalabilidade e a definição de um padrão de implantação de formas de onda melhoram a portabilidade de aplicações de rádio.

Com base em todo o exposto, descortinam-se grandes oportunidades, não só com a implementação de RDS nos mercados civil e militar, mas também com a tecnologia sucessora – os denominados rádios cognitivos.

O rádio cognitivo tem como base conceitos caros ao paradigma RDS, como a execução de funções do dispositivo de comunicação sem fio a partir de implementações em software. No entanto, diferente de seu predecessor tecnológico, o rádio cognitivo propõe uma implementação tecnológica dotada de consciência situacional, visto que pretende promover um ajuste de suas configurações de forma autônoma de modo a maximizar a experiência do usuário. Para tal, o rádio cognitivo deve operar consciente de uma série de aspectos, tais como o ambiente eletromagnético subjacente, seu estado de configuração e sua localização, além de outras informações relevantes à condução das ações no campo de batalha. Em face de tamanho desafio, tem-se que a tecnologia de rádios cognitivos ainda não dispõe sequer de provas de conceito em avaliação mundial para aplicações militares.

Assim, à luz do risco tecnológico subjacente ao desenvolvimento de rádios cognitivos, as capacidades tecnológicas disponíveis no Brasil, a maturidade do desenvolvimento do setor no mundo, decidiu-se pela adoção do paradigma RDS, em detrimento do rádio cognitivo, a ser investigado a posteriori, como desdobramento da própria P&D de RDS.

Destaca-se também a pertinência do emprego do padrão SCA, solução de fato no mercado internacional de comunicações rádio voltadas à aplicações militares, como a melhor estratégia para desenvolvimento de RDS. Conforme se atesta à luz das experiências dos principais programas em curso no mundo atualmente, isto se dá em função das vantagens tecnológicas, logísticas e econômicas advindas de suas principais capacidades – escalabilidade, portabilidade e melhor suporte à interoperabilidade. Essa

¹ <http://wirelessinnovation.org>, acesso em 01 Out. 16

foi a estratégia adotada pelo Ministério da Defesa, conforme exposto na próxima seção deste artigo.

4. O PROGRAMA RDS-DEFESA

O Projeto Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa (RDS-Defesa) foi aprovado e autorizado nos termos da Portaria no 2.110-MD, de 09 de agosto de 2012, com coordenação formalmente atribuída ao Exército Brasileiro. Por sua vez, a Força delegou tal responsabilidade ao Centro Tecnológico do Exército, que já vinha estudando e pesquisando esse assunto desde janeiro de 2010.

Tendo em vista a complexidade do projeto e tomando como referência os desenvolvimentos realizados em outros países, identificou-se a necessidade de implantação de um Programa (composto de projetos intermediários). No CTEEx, foi criado o NIPCAD (Núcleo de Inovação e Pesquisa em Comunicações Aplicadas à Defesa), para realizar pesquisa e desenvolvimento na área, bem como gerenciar o desenvolvimento técnico, os recursos humanos e financeiros das Forças Armadas e de órgãos de fomento alocados nesse empreendimento.

O Programa RDS-Defesa, deverá contribuir com a interoperabilidade nas comunicações táticas das Forças Armadas; bem como para atuar no espaço cibernético com liberdade de ação; além de contribuir para o desenvolvimento da Base Industrial de Defesa no setor.

Tais objetivos deverão ser atingidos mediante o desenvolvimento de protótipos de rádios, baseados no conceito RDS, capazes de prover protocolos de comunicações aderentes à doutrina das Forças Armadas do Brasil, aos cenários de emprego específicos da atuação dessas Forças Armadas, bem como conferir eficiência, disponibilidade e segurança nas comunicações, tanto no que toca à Guerra Eletrônica quanto aos aspectos ligados à Cibernética. Especificamente, para atingir esses objetivos pretende-se alcançar as seguintes metas:

- pesquisar e desenvolver protótipos de rádios veiculares, portáteis (manpack) e de porte (handheld) para emprego tático, baseados no paradigma Rádio Definido por Software (RDS), de modo a conferir interoperabilidade, redução de custos logísticos, confiabilidade, estabilidade, flexibilidade e segurança aos produtos de defesa em questão, a serem empregados viaturas terrestres mecanizadas ou blindadas, embarcações marítimas ou fluviais acima de 200 toneladas e aeronaves de transporte de pessoal e/ou carga; e
- 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), o qual vem se tornando, de fato, o padrão mundial de inovação para o desenvolvimento de rádios RDS militares.

Adicionalmente, o programa possui como objetivos decorrentes a capacitação de recursos humanos altamente qualificados, o domínio de conhecimento de área estratégica para o Brasil, o fomento à Base Industrial de Defesa, sobretudo aquela ligada ao setor das telecomunicações, o fortalecimento de laços institucionais entre ICT civis e militares, bem como a criação de condições para promover

pesquisas e desenvolvimentos na área de Rádios Cognitivos.

O Programa RDS-Defesa compreende dois Ciclos de Desenvolvimento. O primeiro deles visa a realizar o desenvolvimento de protótipos de rádios veiculares embarcáveis em vetores navais e terrestres, com orçamento de R\$ 100 milhões de reais para execução em 10 (dez) anos. O segundo deles envolve o desenvolvimento de protótipos de rádios menores e mais leves, denominados de handheld e manpack, com orçamento de R\$ 90 milhões de reais, com execução prevista de 5 (cinco) anos. Em razão de restrições orçamentárias, até o presente momento, apenas o 1º Ciclo de P&D foi iniciado. As formas de ondas desenvolvidas ao longo do 1º Ciclo de P&D serão adaptadas e portadas para os protótipos de rádios desenvolvidos no 2º Ciclo de P&D.

O primeiro ciclo de desenvolvimento é composto de 4 (quatro) fases. Ao longo desse período, serão desenvolvidos protótipos de RDS veiculares operando nas faixas de HF, VHF e UHF; diversas formas de ondas analógicas e digitais (padrões de comunicações) para operar em todas essas faixas espectrais e dotadas de diversos mecanismos de segurança cibernética, segurança na transmissão (TRANSEC) e nas comunicações (COMSEC); bem como o desenvolvimento de uma plataforma para facilitar o desenvolvimento de novas Formas de Onda.

Adotou-se no projeto uma filosofia de desenvolvimento incremental, em que novas funcionalidades serão acrescentadas aos protótipos de uma determinada fase para gerar protótipos da fase subsequente. A execução do primeiro ciclo de desenvolvimento foi iniciada em dezembro de 2012, com a contratação da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), e os escopos das quatro fases do primeiro ciclo de P&D são as seguintes: RDS-Veicular operando na faixa de VHF; RDS-Veicular operando nas faixas de HF e VHF; RDS-Veicular operando nas faixas de HF, VHF e UHF; e na quarta fase pretende-se realizar atualização das formas de onda de HF, VHF e UHF, e de hardware, bem como concluir a plataforma de desenvolvimento de Formas de Onda, o que está previsto para ocorrer em dezembro de 2022. Cabe destacar, que embora o programa esteja previsto para ser concluído apenas em 2022, o desenvolvimento do hardware será finalizado ao término da primeira fase, as novas fases serão obtidas atualizando e carregando novas formas de ondas.

A fim de facilitar a P&D, o projeto de cada fase foi dividido em 13 (treze) módulos, sendo um voltado para Gestão, outro para Integração e os demais destinados a desenvolver partes específicas dos protótipos, tais como Formas de Onda, soluções de Segurança, Front-End e Plataforma Operacional.

A Figura 2 apresenta desenhos com as vistas frontais dos dois tipos de protótipos previstos para serem desenvolvidos no primeiro Ciclo de desenvolvimento do Programa RDS-Defesa (RDS-Defesa versão veicular).

Tais protótipos são compostos de um Módulo de Processamento - MP, onde todo o processamento de banda básica dos rádios é realizado; dois módulos de Controle e Conversão Digital Analógica - CCDA (onde são efetuadas conversões entre os domínios digital e analógico, bem como são realizadas filtragens digitais, sincronizações e controles automáticos de ganhos); e Front-End operando nas faixas de HF (FE-HF), VHF e UHF (FE-V/UHF), os quais são encarregados de gerar as ondas eletromagnéticas a serem irradiadas pelas antenas e de realizar filtragens ana-

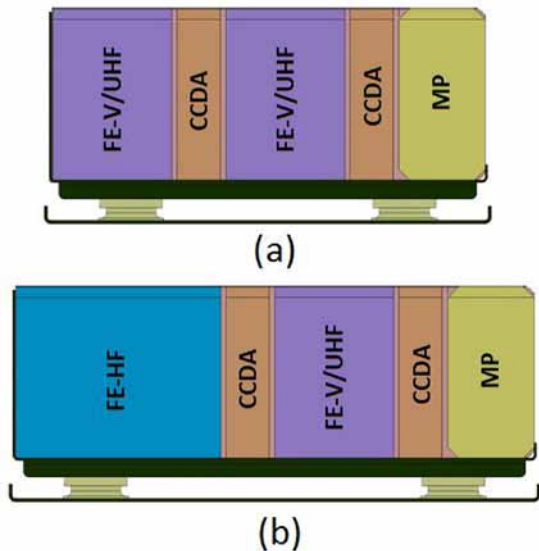


Figura 2: Vista frontal das versões dos protótipos a serem desenvolvidos no Primeiro Ciclo de Desenvolvimento do Programa Nacional RDS-Defesa.



Figura 3: Mock-up do Protótipo RDS-Defesa versão veicular.

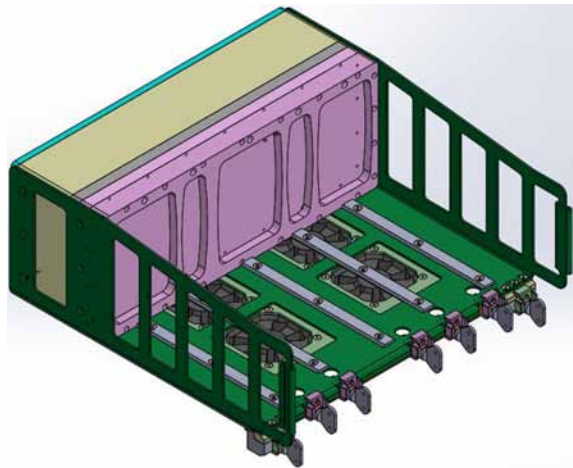


Figura 4: Detalhes dos módulos Backplane, Alimentação e Base Veicular.

lógicas. Pode-se observar que uma versão do rádio deverá operar nas três bandas de frequência (H/V/UHF), Figura 1(b), enquanto que a outra apenas em V/UHF, Figura 2(a).

A Figura 3 apresenta um modelo tridimensional (mock-up) do desenho contido na Figura 2 (a). Esta versão possui dois Front-End de V/UHF e é apropriada para várias aplicações típicas do Exército Brasileiro.

Nessa ilustração, da direita para a esquerda, estão posicionados os seguintes blocos: Módulo de Processamento; Controle e Conversão Digital-Analógico - CCDA operando na faixa de VHF e UHF; o Front-End de VHF e UHF; e na sequência os segundos CCDA e Front-End que também operam na faixa de VHF e UHF. Acima, destaca-se o Módulo de Interface e Interação (MII), o qual permite não só o emprego local mas também remoto em relação ao conjunto principal por parte do usuário.

Adicionalmente, na Figura 4 são apresentados, em detalhes, o Backplane (que interconecta os blocos de Processamento, CCDA e Front-End ao Módulo de Alimentação, que é localizado na parte traseira do desenho) e alguns detalhes da Base Veicular, como, por exemplo, o sistema de arrefecimento forçado (ventoinhas posicionadas na parte de baixo do desenho).

O planejamento do Primeiro Ciclo do Programa RDS-

-Defesa foi iniciado em 2010 e intensificado a partir de 2011. Os requisitos operacionais foram elaborados em conjunto com as três Forças Armadas, tendo sido finalizados ainda em 2011.

Atualmente estão em curso as atividades de pesquisa e desenvolvimento das duas primeiras fases do Primeiro Ciclo de desenvolvimento e o planejamento do Segundo Ciclo de desenvolvimento.

Como mencionado previamente, a execução da Primeira Fase do Primeiro Ciclo de P&D do Programa Nacional RDS-Defesa iniciou em dezembro de 2012, com a contratação do CPqD. Atualmente, esse desenvolvimento conta com a participação do próprio CTE_x, 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.

O CPqD atua na primeira fase do projeto RDS colaborando, especialmente, com o desenvolvimento de 5 (cinco) dentre os 13 (treze) módulos, os quais são listados a seguir:

- MFOSCA – Módulo de Forma de Onda SCA (VHF);
- MSCA – Módulo do Middleware SCA;
- MSEG – Módulo de Segurança;
- FDSCAC – Ferramenta de Desenvolvimento SCA Compatível; e
- CCDA – Controle e Conversão Digital-Analógica,

parte integrante do Módulo de Radiofrequência.

Módulo de Forma de Onda (MFOSCA): núcleo funcional e essência de um RDS. Reside no desenvolvimento em software do conjunto de operações necessário à devida transmissão da informação mediante emprego de sistemas de comunicações. Este módulo abrange um vasto leque de temas de pesquisa, tais como modulação, equalização, sincronização, codificação de canal, codificação de fonte (vídeo, imagens e voz), algoritmos de salto em frequência, algoritmos de beamforming, códigos de correção de erro e protocolos de comunicação de camada física, de enlace e de rede.

A motivação para seu desenvolvimento vem da existência de padrões especializados de comunicações (protocolos), os quais são adaptados aos diversos cenários. Tal diversidade acaba por criar uma enorme plêiade de equipamentos, tendo como consequência o surgimento de problemas de falta de interoperabilidade. Dentre seus objetivos, destaca-se ainda a busca pela redução da probabilidade de detecção e de interceptação, características essenciais para dificultar as ações de Guerra Eletrônica do oponente.

Já o Módulo Núcleo SCA (MNSCA) tem como foco a pesquisa e desenvolvimento de todos os elementos do padrão SCA de modo incremental ao longo do 1º ciclo de desenvolvimento do Programa RDS-Defesa. Conforme descrito na seção anterior, o padrão SCA consiste em mecanismos para criar, implantar, gerenciar e interconectar aplicações rádio (formas de onda), baseadas em componentes e em plataformas distribuídas. O domínio dessa tecnologia e seu desenvolvimento no escopo deste projeto são estratégicos, pois a SCA foi proposta para aumentar consideravelmente a interoperabilidade de comunicação de sistemas rádio e reduzir seu tempo de implantação e custos de desenvolvimento, com garantia de segurança.

Adicionalmente, uma das principais vantagens da metodologia empregada no desenvolvimento em curso reside no Módulo de Segurança (MSEG). Este módulo, sob a coordenação do Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV) da Marinha do Brasil, apresenta uma abordagem mais ampla do que a tradicional em rádios convencionais, uma vez que um RDS pode ser alvo tanto de ataques de Guerra Eletrônica (GE) como cibernéticos. Assim, seu escopo abarca o desenvolvimento de hardware e software com as seguintes funcionalidades: criptografia de alta segurança; suporte a TRANSEC; mecanismo de bypass; gerenciamento de chaves criptográficas; suporte a gerenciamento de políticas de segurança; e suporte a funções de identificação, autenticação e integridade.

Tem-se ainda o esforço de P&D em prol da Ferramenta de Desenvolvimento de Forma de Onda SCA Compatível (FDSCAC), consistindo na iniciação, elaboração, desenvolvimento e implantação de ferramenta de desenvolvimento, validação e simulação de Forma de Onda compatível com o padrão SCA. O desenvolvimento da FDSCAC, em que pese não ser elemento indispensável à operação do RDS, permite o desenvolvimento de formas de onda compatíveis com o ambiente operacional desenvolvido para o protótipo do RDS. Desta forma, permite que outras Forças Armadas e mesmo empresas da BID se lancem em projetos distintos de formas de onda para diferentes cenários operacionais, garantindo a interoperabilidade com o protótipo RDS-DEFESA, padronizado pelo Ministério da Defesa. Em síntese, trata-se de uma spin-off de cunho estratégico para o programa.

Por fim, destaque-se ainda a participação da Fundação

CPqD na P&D do dispositivo de conversão dos sinais analógicos em digitais, o denominado Controle de Conversão Digital-Analógica – CCDA, bem como para o Software Planejador de Missões, o qual visa permitir a configuração automatizada da configuração dos equipamentos rádio em campanha, simplificando as atividades de preparação de redes rádio e reduzindo a possibilidade de erros.

Além da Fundação CPqD, registre-se a participação de outras empresas contratadas pela Administração Pública, em apoio às atividades de P&D desenvolvidas pela equipe das ICT militares encarregadas da execução do projeto em curso. Dentre estas, destacam-se a Hidromec (responsável pelo desenvolvimento e fabricação do MP e do MII, bem como da Base Veicular utilizada pelo protótipo) e a Mectron/Odebrecht (vencedora da licitação destinada à P&D dos módulos de radiofrequência e de alimentação elétrica do protótipo RDS-Defesa em sua versão veicular).

Conclui-se que o Programa RDS-Defesa é ambicioso, visto se tratar de um esforço de P&D com alto risco tecnológico, particularmente em razão da opção pelo emprego do paradigma mais atual de desenvolvimento no setor, em um esforço usualmente de longo prazo e que demanda não só recursos humanos em quantidade e qualificação de nível elevado, mas também de recursos financeiros vultosos. Assim, resta em aberto uma análise que venha a identificar estratégias para mitigar os riscos inerentes ao projeto – tecnológicos e financeiros, em especial. Tal análise é o escopo da próxima seção deste artigo.

5. COMO VIABILIZAR E MITIGAR OS RISCOS DE UMA P&D DE LONGO PRAZO E DE ALTO INVESTIMENTO? UMA ANÁLISE SOB O PRISMA DO MODELO DE INOVAÇÃO EM TRÍPLICE HÉLICE

Nos termos do Wireless Innovation Forum, sociedade que congrega os principais fabricantes mundiais e representantes de Forças Armadas, apenas 15 (quinze) países no mundo detêm o conhecimento de P&D de formas de onda de acordo com o padrão SCA, em diferentes níveis de maturidade. Dentre esses países, destaca-se o Brasil como o único país da América Latina. Essa posição se deve às pesquisas realizadas no CTEEx desde 2010 e das pesquisas e desenvolvimentos decorrentes do Programa RDS-Defesa iniciado em dezembro de 2012, principalmente aquelas realizadas em parceria com o CPqD, uma vez que este é o único empreendimento na área em desenvolvimento no Brasil.

Para atingir esse nível de capacitação tecnológica em tão pouco tempo, foi necessário compor, em primeiro lugar, uma equipe multidisciplinar com graduados, mestres e doutores com experiências nas áreas de Engenharia Mecânica, Computação, Telecomunicações e Eletrônica. Atualmente, o projeto conta com 41 profissionais do Exército Brasileiro e 11 da Marinha do Brasil, em regime de trabalho integral e parcial.

Não obstante a qualificação do grupo constituído, seria impossível fazer frente a tal desafio de inovação em nível mundial sem o devido aporte de recursos financeiros e parcerias com os meios acadêmico e empresarial. Sendo, portanto, imperioso destacar a importância do atendimento dos paradigmas preconizados no modelo de tríplice hélice para atingir os objetivos preconizados no Programa RDS-Defesa.

Sob a orientação da Gerência e da Supervisão do Pro-



Figura 5: Princípios de Inovação sob o paradigma de Tríplice Hélice.

grama RDS-Defesa, buscou-se o estabelecimento de redes de colaboração e parceria com atores dos mais diferentes setores do governo e da sociedade brasileira – indústria e academia, notadamente.

Assim, além desses pesquisadores das Forças Armadas, participam do Projeto RDS-Defesa empresas com notória capacidade técnica em áreas de conhecimento necessárias para a execução do projeto, as quais chegaram a alocar mais de 90 especialistas, entre engenheiros e técnicos, cujos empregos são mantidos pelo Programa Nacional RDS do Ministério da Defesa (atualmente em razão dos reflexos da crise econômica na liberação de recursos para o Programa a quantidade de especialistas das empresas alocado nesse empreendimento é de apenas 50). Dentre as empresas contratadas, merece destaque a Fundação CPqD.

Adicionalmente, é imperioso destacar que o Programa RDS-Defesa tem estimulado o estabelecimento de interações entre a equipe técnica do projeto e universidades, de modo a não só investigar e solucionar questões de cunho científico de interesse do projeto, mas também com o objetivo de fomentar o debate e a pesquisa de temas de interesse da Defesa Nacional no âmbito da comunidade científica nacional na área de Telecomunicações.

Tal modelo, envolvendo a interação coparticipativa entre Governo, Empresa e Academia, é fortemente inspirado no modelo de tríplice hélice de colaboração para a inovação [1]. Isto se justifica, posto que o modelo de tríplice hélice, mais do que promover interação, induz transformações internas nos três atores citados.

Essa seção apresenta atividades do Projeto RDS-Defesa executadas sob o paradigma da tríplice hélice, destacando as vantagens auferidas na consecução dos objetivos preconizados pelo Ministério da Defesa na Portaria de autorização. Em síntese, as vantagens a serem elencadas nas subseções apresentadas atendem aos princípios de inovação descritos na Figura 5.

5.1. Integração com a Indústria:

Dentre as empresas contratadas, destaca-se o relacionamento com a Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD). Fundação de direito

privado sem fins lucrativos, sediada em Campinas, SP, e herdeira da estatal de pesquisa de mesmo nome controlado pela TELEBRÁS até o ano de 1997, constitui-se no maior centro de pesquisa em telecomunicações do Hemisfério Sul, contando com cerca de 1400 profissionais. Destes, o CPqD chegou a alocar mais de 60 profissionais dedicados ao desenvolvimento de elementos essenciais do primeiro protótipo RDS versão veicular, em fase de integração de módulos para avaliação técnica e operacional (atualmente esse número foi reduzido para cerca de 35 profissionais em razão da redução do fluxo de recursos para o projeto decorrente da crise econômica).

Desde a assinatura do primeiro contrato entre a Administração Pública, por intermédio do CTE_x, e a Fundação CPqD em 06 de dezembro de 2012, diversas ações ilustram o emprego do modelo de tríplice hélice descrito na introdução no relacionamento com a Fundação CPqD. Dentre estes, destacam-se os seguintes ganhos:

Geração de Propriedade Intelectual: de acordo com mapeamento preliminar da equipe de projeto do CTE_x, os resultados da 1ª fase do Projeto RDS-Defesa já podem se desdobrar no depósito de mais de 60 (sessenta) pedidos de patente e registros de desenho industrial, além de dezenas de registros de software.

Caso a proteção vislumbrada seja concedida pelo INPI, materializa-se a geração de inovação pelas Forças Armadas no setor de comunicações militares, elemento dissuasório e passível de emprego em cláusulas de offset e de negociação comercial em nível político-estratégico. Além disso, permite-se o retorno de recursos e investimento ao setor de P&D das Forças Armadas, detentora exclusiva dos direitos de propriedade do material a ser protegido, como fruto da percepção de royalties advinda do devido processo de licenciamento tecnológico junto à indústria.

Além disso, dado que a lei brasileira garante o direito dos autores à publicação de seus nomes nas patentes a serem concedida, tal colaboração permitirá solidificar e incrementar a posição da Fundação CPqD como geradora de conhecimento em área tecnológica sensível, tanto em nível nacional como internacional.

Constituição da Comissão para Absorção de Conhecimentos e Transferência de Tecnologia (CACTT-CPqD): au-

torizada pelo Comandante do Exército em abril de 2013 e com duração prevista até junho de 2019, a aludida comissão é composta de 03 (três) oficiais engenheiros militares (01 engenheiro de computação e 02 engenheiros de comunicações, todos primeiros-tenentes) que trabalham nas instalações da Fundação CPqD.

A CACTT, além de permitir a participação técnica no desenvolvimento de módulos do RDS ao lado dos pesquisadores daquela fundação, constituiu-se em experiência para os jovens oficiais e fonte de intercâmbio de experiências no ato do retorno ao CTEEx.

Tal movimento também traz benefícios à Fundação CPqD, dada a simplificação promovida na interação com os integrantes do CTEEx. Fruto dessa experiência, o CPqD reservou uma área exclusiva para a denominada Gerência de Defesa e Segurança, com os mecanismos de sigilo necessários e dotada de pessoal cada vez mais especializado no trato de temas de interesse da Defesa Nacional.

- Para o Projeto RDS-Defesa, tal interação se traduziu na benéfica alocação de 06 engenheiros/pesquisadores do CPqD no CTEEx, particularmente no NIPCAD. Tal equipe, com larga experiência em temas diversos, como comunicações em HF, desenvolvimento de software para sistemas embarcados, desenvolvimento, integração e avaliação de equipamentos rádio, traz valiosa contribuição ao projeto. Em especial, ressalte-se não só no acompanhamento das avaliações dos pacotes de trabalho, mas principalmente na intensa participação nas etapas de pesquisa, desenvolvimento e integração dos módulos do protótipo em desenvolvimento. Assim, verifica-se que tal tipo de intercâmbio é exitoso para ambas as instituições e traz significativos ganhos de tempo e qualidade no desenvolvimento da solução almejada.
- Publicação de artigos científicos: o CPqD publica semestralmente os resultados mais destacados de suas pesquisas em uma revista editada pela própria fundação, de nome Cadernos CPqD de Tecnologia. Pela primeira vez em sua história, uma edição dessa revista (2o semestre de 2014) foi inteiramente dedicada à Defesa Nacional, com a publicação de artigos de pesquisadores do Centro Tecnológico do Exército, bem como de trabalhos desenvolvidos em parceria entre integrantes das duas instituições. Essa revista de circulação nacional, permitiu a difusão de temas de pesquisa, resultados e assuntos de interesse do CTEEx para toda a comunidade científica brasileira, bem como a associação da Fundação CPqD a tal esforço.
- Estabelecimento de acordo de cooperação entre o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) e a Fundação CPqD: como fruto dos excelentes resultados já obtidos, o DCT já autorizou o início dos entendimentos com a Fundação CPqD para a redação de Instrumento de Parceria que estabeleça e discipline um acordo de cooperação do Exército Brasileiro com a referida Fundação.
- Dentre as possíveis ações decorrentes já elencadas, vislumbra-se a criação de um escritório do CPqD nas instalações do CTEEx, em perfeito alinhamento com a estratégia de atração e aproximação da Base Industrial de Defesa com as ICT do Exército Brasileiro preconizada com a criação do Polo de Ciência e Tec-

nologia do Exército Brasileiro em Guaratiba (PC-TEG) e que permite descortinar o estabelecimento de novas cooperações em proveito de outros projetos de interesse mútuo.

Assim, as atividades em tela, que em muito superam a mera contratação de serviços, são identificadas como indutores do sucesso das atividades de P&D do projeto e perfeitamente aderentes ao preconizado pelo modelo de tríplice hélice, em face do notório incremento da interação com a indústria já em curso no Projeto RDS-Defesa.

5.2. Integração com a Academia

Os trabalhos de pesquisa no CTEEx a respeito do tema remontam ao ano de 2010, com os estudos preliminares e a formação de equipe técnica dotada das competências identificadas para fazer frente aos desafios propostos. Para tal, o desenvolvimento de pesquisa nas próprias dependências mostrou-se um imperativo, a fim de solucionar questões de cunho técnico e divulgar os temas de interesse à comunidade científica.

No entanto, a interação com outros grupos de pesquisa se fez mandatária, em face dos desafios identificados em diversos trabalhos realizados no NIPCAD, como [12], [17-23].

Como fruto destas atividades de pesquisa, diversas ações decorrentes ilustram o emprego do modelo de tríplice hélice descrito na introdução no relacionamento com a sociedade acadêmica nacional. Dentre estas, destacam-se:

- Realização do Workshop de Rádio Definido por Software no CTEEx em julho de 2011, com a participação de diversos órgãos do Ministério da Defesa e das Forças Armadas, da academia (IME, ITA, PUC-Rio, UFCG e UFRJ); do ramo empresarial (CPqD, AsGa, EMBRAER, IMBEL-FMCE, ORBISAT e PINETREE), além de representantes de diversas ICT militares das três Forças Armadas. No evento, a importância do programa RDS-Defesa foi amplamente debatida ao longo de dois dias, ficando bem caracterizada a necessidade da participação conjunta da academia, de empresas e de ICT militares nesse empreendimento.
- Coordenação Técnica da Sessão Industrial “Telecomunicações para Defesa Nacional” do XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT), realizado em setembro de 2015 na cidade de Juiz de Fora-MG. O simpósio, que contou com mais de 500 (quinhentos) participantes, tradicionalmente reúne os principais pesquisadores da área de Telecomunicações do país. Participaram da aludida sessão técnica representantes do governo, da academia e da indústria, que puderam assistir palestras de representantes do Exército Brasileiro e de empresas como a Fundação CPqD, Mectron-Odebrecht, Kryptus, Instituto Eldorado, Savis Tecnologia e Sistemas e Trópico. Esse evento representou uma quebra de paradigma nos simpósios brasileiros de telecomunicações, no sentido de que foi realizada uma tentativa de aproximar a academia na área de telecomunicações ao meio empresarial e governamental na área de Defesa.
- Minистраção do Minicurso “Programa Rádio Definido por Software de Defesa: Tecnologias e Oportuni-

dades de Pesquisa”, também apresentado no XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT), realizado em setembro de 2015 na cidade de Juiz de Fora-MG.

Tal minicurso, além de ensejar uma publicação no *Journal of Communication and Information Systems (JCIS)*, permitiu a interação com mais de 100 (cem) pesquisadores de algumas das mais prestigiosas universidades e centros de pesquisa brasileiros (UFRGS, UFSC, UFCE, UFCG, UFRN, UFPA, UnB, UFJF, UFRJ, IME, INATEL, CPqD). Desta interação, intensificaram-se entendimentos para a criação de uma Rede de Pesquisa Nacional em Comunicações Táticas e Estratégicas – uma rede de cooperação sob a égide da trílice hélice, envolvendo atores do governo, indústria e academia para a pesquisa de temas de interesse das comunicações militares.

- Diversas palestras em universidades federais sobre o Programa RDS-Defesa desde 2014, os principais desafios tecnológicos, os temas de pesquisa de interesse. Dentre as palestras destacam-se as palestras realizadas da UFCG, IME e UFRN em 2015.
- Apoio técnico ao Desafio SBrT 2016 de Comunicações Digitais para Aplicações Militares, uma jornada técnico-científica promovida pela Sociedade Brasileira de Telecomunicações no XXXIV SBrT, realizado no mês de setembro na cidade de Santarém – PA. Tal competição se deu a partir de tema técnico proposto pelo Centro Tecnológico do Exército, que auxiliou a coordenação do evento nas atividades de avaliação dos trabalhos e de orientação das equipes competidoras. Os trabalhos em tela consistiram em soluções de receptores de rádio digital na faixa de HF (Altas Frequências), com a intenção de proporcionar aos participantes a oportunidade de aplicar conhecimentos de telecomunicações em um problema prático e de interesse da Defesa Nacional. Fruto do interesse despertado junto à Coordenação Geral responsável pela próxima edição do SBrT, será realizada uma nova edição da competição em 2017, cujo resultado será divulgado no congresso, a se realizar na cidade de Águas de São Pedro – SP.

Essa iniciativa, além de pioneira, é emblemática, pois envolve os três atores do modelo da trílice hélice de forma integrada, munidos do objetivo comum de gerar inovação. A academia, por intermédio de pesquisadores e alunos de graduação e pós-graduação buscando soluções eficientes para um problema definido pelo CTEEx (governo). O governo, além de definir o problema, atua como órgão de fomento, uma vez que figura entre os patrocinadores do evento. A empresa, além de contribuir com patrocínio, participa da avaliação das propostas (inventos) oriundas da academia e poderá vir a utilizar os inventos na produção de componentes de interesse do programa RDS-Defesa, gerando assim Inovação, mais especificamente inovação aberta.

- Apoio a atividades de docência, pesquisa e extensão desenvolvidas no Instituto Militar de Engenharia, como: Minистраção de curso de pós-graduação (“Transmissão Digital”, em proveito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Defesa – PGED); Minистраção de aulas nos cursos de Engenharia de Comunicações (“Aspectos Regulatórios em Sistemas de Telecomunicações”) desde 2012; Desenvolvimento de atividades de Estágio Supervisionado

para alunos de Engenharia de Computação, Comunicações e Eletrônica desde 2013; Apoio técnico e supervisão de projetos de pesquisa de alunos de pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Sistemas e Computação desde 2012.

- Temas críticos de pesquisa do RDS-Defesa serão abordados a partir de 2017 no Instituto Militar de Engenharia (IME) e na Télécom ParisTech em Paris, onde serão realizados dois temas de doutorado em cada uma dessas instituições, em que figuram como doutorandos militares integrantes do projeto RDS-Defesa e com coorientadores membros da equipe executora desse projeto.
- Publicação de artigos científicos. Em que pese a restrição de publicação de um assunto que se pretende proteger com patentes, para fins de licenciamento da tecnologia para empresas nacionais, a equipe executora do Programa RDS-Defesa publicou, nos últimos 4 anos, da ordem de 15 artigos científicos em anais de congressos nacionais e internacionais, bem como em revistas nacionais e internacionais.

Assim, tais ações são identificadas como indutores do sucesso das atividades de P&D do projeto, conforme preconizado pelo modelo de trílice hélice.

5.3. Integração com o Governo:

Um dos elementos críticos de sucesso do Projeto RDS-Defesa é o apoio das ICT das demais Forças Armadas, notadamente da Marinha do Brasil. Fruto do alinhamento político-estratégico entre a Secretaria de Ciência e Tecnologia da Marinha (SecCTM) e o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT), pesquisadores e Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) da Marinha do Brasil participam ativamente dos trabalhos de P&D desde a fase de concepção. Assim, dentre as medidas mais relevantes, destacam-se:

- A alocação, mediante Portarias do Comandante da Marinha, de 03 (três) oficiais engenheiros navais (02 engenheiros de comunicações e 01 engenheiro de computação) em tempo integral no CTEEx, como integrantes da equipe de P&D do Exército Brasileiro. Os referidos oficiais de Marinha participam da concepção, elaboração, desenvolvimento e integração das soluções dos diversos módulos do RDS, como responsáveis técnicos pelo projeto em suas esferas de atribuição. Além disto, são relacionados para a avaliação de pacotes de trabalho das empresas contratadas, assinando como membros de comissões de recebimento.
- A coordenação do Módulo de Segurança (MSEG) por parte do CASNAV. Assim, não só as políticas e diretrizes de segurança, bem como os algoritmos criptográficos utilizados passam pelo acompanhamento e aprovação da equipe de especialistas em segurança daquele Centro de pesquisas da Marinha do Brasil.
- A contratação, por parte da Marinha do Brasil, de um pesquisador especialista em segurança, que foi alocado 4 dias por semana no CTEEx desde 2012, não só para acompanhamento das atividades do Projeto RDS-Defesa em nome do CASNAV, mas também para facilitar a integração do MSEG aos demais módulos.



Figura 6: Integração entre a aplicação C2 em Combate e forma de onda do Projeto RDS-Defesa.

- O acompanhamento gerencial e a orientação técnica do gerente do Projeto RDS na Marinha do Brasil. Este oficial (CF EN especialista em telecomunicações) confere grande apoio às equipes técnica e de gestão do projeto, apresentando a visão da Marinha do Brasil e recomendando estratégias para o desenvolvimento em curso.
- A inclusão da proposta de integração dos Sistemas de Comando e Controle (C2) da Marinha do Brasil com o Projeto RDS-Defesa como um dos temas prioritários do recente Workshop de Integração entre ICT da Marinha do Brasil e do Exército Brasileiro.

Além disto, ressalte-se a crescente integração do Centro Tecnológico do Exército com o Centro de Desenvolvimento de Sistemas (CDS) do Exército Brasileiro. Fruto desta exitosa parceria, os primeiros resultados já são evidentes, como a integração entre a aplicação C2 em Combate, símbolo da Família de Aplicativos de Comando e Controle da Força Terrestre (FAC2FTer) com uma forma de onda desenvolvida para o protótipo veicular do Projeto RDS-Defesa em ambiente laboratorial, conforme ilustrado na Figura 6. Outra atividade exitosa nesse contexto, foi a integração do software Gerenciador do Campo de Batalha (GCB) com as formas de onda do RDS-Defesa.

É imperioso destacar que a experiência tem demonstrando que a integração de aplicativos de Comando e Controle do Exército com rádios importados é tarefa usualmente difícil, onerosa e demorada. No caso do Programa RDS-Defesa essa atividade foi realizada em curto espaço de tempo e sem maiores dificuldades, tendo sido facilitada não só pela interação entre as equipes, mas principalmente pelo domínio das tecnologias relacionadas por parte das equipes do Centro de Desenvolvimento de Sistemas (CDS), responsável pelo desenvolvimento do C2 em Combate, e do Projeto RDS-Defesa. Assim, tal fato ilustra a importância da colaboração até mesmo entre as equipes de trabalho e as organizações militares participantes do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército (SCTIEx).

Portanto, conclui-se parcialmente que a experiência de interação com ICT ligadas ao próprio Governo e, em particular, às Forças Armadas é, sem dúvida, indutora do sucesso das atividades de P&D do projeto, atestando a relevância e eficácia do paradigma preconizado pelo modelo de tríplice hélice.

Por fim, destaque-se o relacionamento com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações, por meio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Para atingir seus objetivos, não só sob o ponto de vista técnico, mas também para permitir um aporte de recursos mais eficiente para

os seus diversos módulos.

Assim, foi assinado em 06 de dezembro de 2013 o Convênio 01.13.10369.00 entre a Fundação de Apoio à Pesquisa do Exército Brasileiro (FAPEB) e a FINEP em proveito do Programa Nacional Rádio Definido por Software – RDS do Ministério da Defesa. O aludido convênio abrange escopos do 1º Ciclo de P&D (desenvolvimento de protótipos de rádios veiculares embarcáveis em vetores navais e terrestres), particularmente das duas primeiras das quatro fases previstas neste Ciclo, as quais compreendem a P&D de protótipos rádios operando nas faixas de HF e de VHF no valor de R\$ 20,8 milhões.

O apoio da FINEP viabilizou a execução de etapas importantes do projeto, como a pesquisa e desenvolvimento de formas de onda na faixa de HF, dos módulos de processamento (MP) e de interface e interação com o usuário (MII), a contratação de consultorias em aspectos específicos do projeto, como sistemas operacionais de tempo real, SCA, forma de onda e levantamento de requisitos, dentre outros. Por fim, destaque-se a existência de entendimentos em curso no nível ministerial para que a FINEP participe do financiamento não só das demais fases do 1º ciclo de desenvolvimento, mas também de todo o 2º ciclo de desenvolvimento de protótipos RDS – agora, nas versões Handheld e Manpack.

Com base no exposto, verifica-se que tal experiência com outros órgãos governamentais de fomento à pesquisa e desenvolvimento é, também, indutora do sucesso das atividades de P&D do projeto, conforme preconizado pelo modelo de tríplice hélice, mitigando os riscos do projeto e contribuindo de modo inequívoco para o desenvolvimento nacional.

6. CONCLUSÃO

Este artigo apresenta reflexões e fatos acerca de um importante tema para o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (SCT&I) não só do Exército Brasileiro, mas nacional. Em particular, analisa-se o processo de tomada de decisão para a P&D no Brasil de rádios definidos por software, sob a égide do Programa RDS-Defesa, com destaque à importância, influência e resultados advindos do emprego do modelo de tríplice hélice no aludido projeto.

Em síntese, postula-se aqui que o Brasil deve planejar o atendimento de demandas futuras com equipamentos nacionais, substituindo o ciclo hoje em curso de mera aquisição de equipamentos importados, não só em face das oportunidades apresentadas pela tecnologia RDS, mas também pelas ameaças que a dependência nos níveis tecnológico, cibernético e estratégico representa ao país.

Adicionalmente, o artigo analisa os paradigmas mundiais de desenvolvimento de RDS, caracterizando a pertinência da escolha feita pelo Projeto RDS-Defesa ao adotar o padrão SCA como estratégia para desenvolvimento de RDS. O SCA é a solução de facto no mercado internacional de comunicações rádio militares, em face de suas capacidades – escalabilidade, portabilidade e melhor suporte à interoperabilidade, que lhe conferem vantagens tecnológicas, logísticas e econômicas.

Além disso, este trabalho apresenta o Projeto RDS-Defesa, caracterizando os objetivos e metas definidos pelo Ministério da Defesa (MD), seus ciclos de desenvolvimento, os módulos constituintes e os atores envolvidos. Nesse diapasão, destaca-se a influência do modelo de tríplex hélice no processo de pesquisa e desenvolvimento do projeto em tela, como indutora do sucesso das atividades de P&D do projeto e mitigadora os riscos do projeto. Por certo, a estreita colaboração com atores na Indústria, Academia e Governo vem contribuindo decisivamente para a consecução dos objetivos e metas estabelecidos pelo MD.

Conclui-se, assim, que o emprego do modelo de tríplex hélice é fator crítico de sucesso na P&D do Projeto RDS-Defesa, em apoio a uma estratégia alinhada com os princípios exarados na Política Nacional de Defesa, em especial de redução da dependência e de fomento ao desenvolvimento nacional. Assim, os autores posicionam-se pelo apoio e acompanhamento dos desdobramentos do Projeto RDS-Defesa, o qual se constitui em um projeto inovador, não só em função da futura adoção de Produtos de Defesa em setor estratégico, mas também em função das lições a serem aprendidas na interação com organismos governamentais, do setor privado e das universidades, sob a égide do modelo de tríplex hélice.

Dentre oportunidades de trabalhos futuros, destaca-se a identificação de aprimoramentos aos diversos mecanismos de políticas públicas passíveis de emprego em projetos desta natureza. Dada a multiplicidade de estamentos legais, bem como a experiência dos autores no tema, acredita-se que a discussão sobre as possibilidades e limitações do arcabouço legal de C,T&I é relevante e poderá contribuir não só para o Projeto RDS-Defesa, como para todo o setor no país.

1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Prado Filho, H. V.; A transformação do Exército Brasileiro e o novo Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército: contribuições para a Soberania Nacional; Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia, Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2014.
- [2] Brasil. Ministério da Defesa. Estratégia Nacional de Defesa. Brasília, DF, 2012a. Disponível em: <http://www.defesa.gov.br>, acesso em: 01 out. 2016.
- [3] Brasil. Ministério da Defesa. Livro Branco de Defesa Nacional. Brasília, DF, 2012b. Disponível em: <http://www.defesa.gov.br>, acesso em: 01 out. 2016.
- [4] Brasil. Estado Maior do Exército. Aprova o Catálogo de Capacidades do Exército (EB20-C-07.001). Portaria n. 309-EME, de 23 de dezembro de 2014. Lex: Boletim do Exército n. 1/2015, Brasília, DF, 2015.
- [5] Figueiredo, P. N.; Gestão da Inovação: Conceitos, Métricas e Experiências de Empresas no Brasil; 2ª Edição, LTC: Rio de Janeiro, 2015.
- [6] Salehi, M., Proakis, J.; Digital Communications; 5ª edição, McGraw-Hill Education: Nova Iorque, 2007.
- [7] Branco, M. G. C.; Roelli, F. A.; Silva, F. H.; Pereira, F. R.; Lima, G. C.; Miquelino, M. A.; Moreno, R. P. H.; Ribeiro, S. L.; Moura, D. F. C.; Galdino, J.F.; Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa - Visão geral das primeiras contribuições do CPqD; Cadernos CPqD Tecnologia **2014**, 10, 9.
- [8] Bispo, M. N., Gomes, G. A. F., da Nova, J. N., Moura, D. F. C.; Emprego de Análise Baseada em Cenários em apoio a projeto de sistemas de comunicações militares; Cadernos CPqD Tecnologia **2014**, 10, 63.
- [9] Silva, F. A. B.; Moura, D. F. C.; Galdino, J. F.; Classes of Attacks for Tactical Software Defined Radios; International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems **2012**, 3, 57.
- [10] Moura, D. F. C.; da Silva, F. A. B.; Galdino, J. F.; Case Studies of Attacks over Adaptive Modulation Based Tactical Software Defined Radios; Journal of Computer Networks and Communications **2012**, 1.
- [11] Silva, F. A. B.; Moura, D. F. C.; Galdino, J. F.; Security Issues in Tactical Software-Defined Radios: Analysis of Attacks and Case Studies. In: Seppo Virtanen. (Org.). Advancing Embedded Systems and Real-Time Communications with Emerging Technologies. 1ed. Hershey, PA: IGI Global, 2014, p. 22-53.
- [12] Paiva Junior, N. M.; Marques, E.; Moraes, R. F.; Silva, F. A. B.; Moura, D. F. C.; Galdino, J. F.; Introdução ao Desenvolvimento de Rádios Definidos por Software para Aplicações de Defesa; XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Brasília. 2012.
- [13] Salles, R. M.; Moura, D. F. C.; Carvalho, J. M.; Silva, M. R.; Novas Perspectivas Tecnológicas para o Emprego das Comunicações no Exército Brasileiro; Revista Militar de Ciência e Tecnologia **2008**, 25, 68.
- [14] Clausewitz, C. V.; Da Guerra; Martins Fontes: São Paulo, 1996.
- [15] Kovarik, V.; Software defined radio: The Software Communications Architecture; John Wiley & Sons Ltd: Inglaterra, 2007.
- [16] Wireless Innovation Forum, Software Communications Architecture (SCA). Versão 2.2.2. 2006. Disponível em: <http://groups.winforum.org/d/do/3766>. Acesso em: 04/Nov/2014.
- [17] Marques, E. C.; Paiva Junior, N. M.; Galdino, J. F.; Pinto, E. L.; Desempenho da Técnica de Modulação Adaptativa sob o Enfoque da Geração de Surto de Erros: XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Brasília, 2012.
- [18] Moreno, R. P. H.; da Silva, F. H.; Branco, M. G. C.; Torturela, A. M.; Gomes, G. A. F.; Transceiver Facility Specification – Um padrão para desenvolver transceptores RF de RDS SCA-Compliant. Cadernos CPQD Tecnologia **2014**, 10, 17.
- [19] Paiva Junior, N. M.; Marques, E.C.; Ribeiro Junior, F.C.; Torturela, A. M.; Galdino, J. F. Análise de desempenho de técnicas de estimação de canais esparsos. Cadernos CPqD Tecnologia **2014**, 10, 89.
- [20] Ribeiro Junior, F. C.; Marques, E.; Paiva Junior, N. M.; Galdino, J. F.; Avaliação de desempenho de equalizadores DFE adaptativos em enlaces HF ionosféricos que empregam a norma MIL-STD-188-110C; Cadernos CPqD Tecnologia **2014**, 10, 101.
- [21] Marques, E. C.; Paiva Junior, N. M.; Ribeiro Junior, F. C.; Galdino, J. F.; Modelagem de Padrões de Erros da Camada Física de Sistemas de Comunicações HF Ionosféricos usando HMM; XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Juiz de Fora, 2015.
- [22] Ribeiro Junior, F. C.; Marques, E.; Paiva Junior, N. M.; Galdino, J. F.; Sparsity-aware Direct Decision-feedback Equalization of Ionospheric HF Channels; IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2015), Tampa, United States, 2015.
- [23] Paiva Junior, N. M.; Marques, E. C.; Ribeiro Junior, F. C.; Galdino, J. F.; Comparação de Desempenho de Algoritmos para Equalização em Canal HF Banda Larga. Encontro Anual do Iecom em Comunicação, Redes e Criptografia, Campina Grande, 2015..