Considerações sobre a Escolha de Antenas para Rádio Definido por Software Tático Terrestre

Francisco Estêvão Simão Pereira, George Alex Fernandes Gomes, e Maurício Henrique Costa Dias

Resumo—O conceito de Rádio Definido por Software (RDS) tem sido incorporado com intensidade crescente nas tecnologias de rádios para aplicações militares. Um dos desafios dessa quebra de paradigma é a especificação de componentes que compõem o módulo de RF do equipamento, incluindo as antenas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é discutir criticamente os principais aspectos a serem considerados na especificação ou projeto de antenas para um RDS tático terrestre. Para tal, tomou-se como base as configurações previstas no escopo do Programa RDS-Defesa. A discussão evidencia lacunas de informação em prospectos de antenas disponibilizados pelos fabricantes, outros aspectos não tão óbvios, e como eles se relacionam, contribuindo como orientação complementar ao processo de escolha da solução de antenas mais adequada.

Palavras-Chave—Antenas HF, Antenas VHF, Antenas UHF, Antenas táticas; Rádio Definido por Software (RDS).

Abstract—The Software Defined Radio (SDR) concept has been incorporated with increasing intensity in the radio technology for military applications. One of the challenges of this paradigm shift is the specification of components comprising the RF module of the equipment, including the antennas. In this context, the aim of this paper is to critically discuss the main aspects to be considered in the specification or design of antennas for terrestrial tactical SDR. To this end, the SDR settings specified in the scope of the SDR-Defense Program were taken as reference. The discussion highlights information gaps in antenna datasheets available from manufacturers, other not so obvious things, and how they relate, providing further guidance to the process of choosing the most appropriate antenna solution.

Keywords—HF Antennas, VHF Antennas, UHF Antennas, Tactical Antennas, Software Defined Radio (SDR).

I. INTRODUÇÃO

Rádio Definido por Software – RDS (Software Defined Radio) é um conceito que tem modificado consideravelmente a forma de se projetar e operar rádios. A concepção do equipamento deixa de ser a tradicional, baseada em um hardware dedicado. O hardware passa a ser, em essência, uma plataforma computacional de uso geral, acionada por software capaz de realizar quase todas as funcionalidades típicas de um rádio [1]-[6]. Dentre as várias aplicações que se beneficiam desse paradigma mais contemporâneo de arquitetura de rádios, destacam-se: telefonia móvel (tanto para os terminais quanto para as estações-base); comunicações para forças de segurança pública (policiais, bombeiros, fiscais ambientais, etc.); comunicações para aplicações de Defesa (Forças Armadas); e comunicações espaciais (via satélite) [6].

No cenário nacional, um importante esforço de desenvolvimento tecnológico nessa área é o Programa

Nacional Rádio Definido por Software de Defesa (RDS-Defesa). Seu cronograma prevê o desenvolvimento de uma família de rádios táticos veiculares e portáteis para as Forças Armadas Brasileiras capazes de operar nas bandas de HF a UHF [7]-[8]. O Centro Tecnológico do Exercito (CTEx) é a instituição à frente desse programa.

Um dos aspectos-chave do conceito de RDS é a flexibilidade de operação proporcionada. Diferentes protocolos de comunicação podem ser escolhidos, assim como as frequências de operação, que em algumas aplicações podem apresentar distâncias de até mais de uma década entre as bandas mais baixa e mais alta [6]. Essa flexibilidade traz, portanto, dificuldades para o projeto da parte de *hardware* não digitalizada do RDS, concentrada tipicamente em seu módulo de RF (*RF front-end*), que contém a antena, amplificadores, filtros, duplexadores, entre outros dispositivos. Quando o RDS deve ser flexível a ponto de precisar operar em diferentes faixas de frequência, com variados requisitos de largura de banda do sinal, a antena ou sistema de antenas merece atenção destacada [6].

Antenas banda-larga ou de banda ultra-larga estão entre as soluções compatíveis com as demandas típicas de um RDS. A pesquisa nessa temática tem sido bastante ativa há pelo menos duas décadas, com muitos resultados compatíveis com certos requisitos de RDS. Entretanto, a operação de um RDS pode não demandar necessariamente a ocupação de uma faixa espectral banda-larga. Quando esse é o caso, uma outra abordagem possível é o uso de antenas e dispositivos de RF reconfiguráveis [9]-[10]. Um esforço considerável de pesquisa nesse campo é observado ao longo da última década, sem tendência aparente de redução ou suspensão.

O comportamento desejado em termos de largura de banda, por mais significativo que seja, é apenas um dos aspectos que devem ser considerados na escolha de antenas para um RDS. Há outros relacionados à configuração do equipamento, à plataforma de uso, ou ao grau de integração da antena com o processador do RDS, que precisam ser igualmente apreciados para conciliação com os requisitos básicos impostos para o equipamento. Este trabalho tem por objetivo contribuir com o contexto em questão, apresentando uma breve discusão sobre os principais aspectos a serem considerados na especificação ou projeto de antenas para um RDS tático terrestre. Em particular, tomou-se como base para essa discussão as configurações previstas no escopo do Programa RDS-Defesa [9]-[10].

A seção II descreve sucintamente o Programa RDS-Defesa, destacando os aspectos relevantes aos objetivos da discussão proposta. A seção seguinte apresenta resultados de um

Francisco E. S. Pereira e Maurício H. C. Dias, Seção de Engenharia Elétrica, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro-RJ, Brasil, E-mails: estevaosimaop@ime.eb.br, mhcdias@ime.eb.br.

George A. F. Gomes, Divisão de Tecnologia da Informação, Centro Tecnológico do Exército (CTEx), Rio de Janeiro-RJ, Brasil, E-mail: george@ctex.eb.br.

levantamento recente sobre parâmetros descritivos de antenas para rádios táticos terrestres, não necessariamente definidos por software, a partir das informações ostensivas disponibilizadas por fabricantes diversos. Na sequência, a seção IV discute o que deve ser considerado na escolha ou especificação de antenas para RDS tático terrestre, objetivo central deste trabalho. Por fim, a seção V conclui o artigo.

II. PROGRAMA RDS-DEFESA

O Programa Nacional RDS-Defesa se destaca como uma importante iniciativa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) brasileira, com resultados esperados de grande impacto para a garantia de objetivos estratégicos de Defesa e de Ciência, Tecnologia e Inovação. Entre os principais objetivos destacamse o aumento da interoperabilidade nas comunicações táticas das Forças Armadas, mais capacidade de atuação no espaço cibernético com liberdade de ação, e melhoria da segurança das comunicações. Para tal, o Programa prevê o desenvolvimento de protótipos de rádios, baseados no conceito RDS, capazes de prover protocolos de comunicações aderentes à doutrina das Forças Armadas Brasileiras em seus diferentes cenários de emprego [7].

Tomando por base uma filosofia de desenvolvimento incremental, o Programa foi iniciado formalmente através da Portaria 2110-MD, de 9 de agosto de 2012, estabelecendo o CTEx como instituição líder. Desde então, o Programa conta com a participação de instituições de pesquisa como o CPqD, de empresas como a Mectron e a Hidromec, e do apoio de parceiros das Forças Armadas Brasileiras como o CASNAV (Centro de Análise de Sistemas Navais), e o IPqM (Instituto de Pesquisas da Marinha). Atualmente, o grupo de trabalho soma cerca de 80 engenheiros e técnicos diretamente envolvidos nas atividades de P&D [7]-[8].

O cronograma do Programa RDS-Defesa compreende dois ciclos de desenvolvimento. O primeiro visa a elaboração de protótipos de rádios veiculares embarcáveis em vetores navais e terrestres. O segundo envolve a concepção de protótipos de rádios portáteis individuais, nas versões de mochila (*manpack*) e de mão (*handheld*) [7].

A duração prevista para o primeiro ciclo de desenvolvimento é de 10 (dez) anos, divididos da seguinte forma: primeira fase (RDS-veicular VHF) até Set 2016; segunda fase (RDS-veicular HF/VHF) até Dez 2017; terceira fase (RDS-veicular HF a UHF) até Dez 2019; e quarta fase (atualização das formas de onda de HF a UHF, bem como conclusão da plataforma de desenvolvimento de formas de onda) até Dez 2022 [7]. A Fig. 1 ilustra o protótipo que vem sendo concebido na primeira fase [8].

Parte dos resultados e contribuições pretendidos no Programa poderá ser obtida com base em uma abordagem de inovação aberta (open innovation) [11], buscando parcerias complementares com universidades e outros centros de pesquisa. De fato, o Programa tem uma série de demandas de pesquisas em temas específicos, como a composição do módulo de RF, por exemplo. Alguns desafios científicotecnológicos a serem vencidos nesse contexto incluem a especificação ou projeto de antenas banda-larga e/ou reconfiguráveis, e a compatibilidade eletromagnética do equipamento [8]. E para cada configuração do RDS prevista, os requisitos impostos ampliam a diversidade de soluções para aqueles desafios, sejam elas existentes ou ainda por desenvolver.



Fig. 1. Protótipo em desenvolvimento da 1ª fase do Programa RDS-Defesa (RDS-veicular VHF) [8].

III. ANTENAS COMERCIAIS PARA RÁDIOS TÁTICOS TERRESTRES

Uma antena deve ter seu desempenho caracterizado tanto como elemento de circuito quanto como elemento irradiante. Para tal, há uma série de parâmetros básicos usualmente considerados, como diagrama de campo, ganho, resistência de radiação, fator de perda de polarização, área efetiva da antena, entre outros [12]-[13]. Uma mesma propriedade da antena pode ser representada por diferentes parâmetros, como a impedância da antena por exemplo, que tem como alternativas a taxa de onda estacionária (VSWR) ou o coeficiente de reflexão (S11) em relação a uma impedância de referência (usalmente 50 Ω em aplicações de RF). Tipicamente, a caracterização completa desses parâmetros precisa ser informada em uma faixa de frequências de interesse para a aplicação da antena em questão, ao que costuma-se chamar "faixa nominal de operação". Essa dependência frequencial dos parâmetros é, portanto, uma informação essencial para especificar, adquirir ou projetar uma antena para um dado sistema.

Fabricantes e fornecedores de antenas não seguem um mesmo padrão necessariamente quando expõem as informações técnicas a respeito de seus produtos. O grau de detalhamento varia de fabricante para fabricante e de acordo com o segmento comercial a que se destina. Por exemplo, antenas para recepção de sinal de radiodifusão de aúdio ou TV são estruturas radiantes usualmente simples ou de configurações amplamente conhecidas, destinadas a usuários leigos, sem interesse ou discernimento que justifiquem o fornecimento de prospectos técnicos detalhados. Por outro lado, usuários de sistemas de comunicações militares costumam ser mais exigentes quanto à disponibilidade dessas informações técnicas, o que leva os fabricantes de antenas para essas aplicações a serem mais detalhistas em seus folhetos técnicos descritivos.

O segmento de comunicação tática terrestre opera majoritariamente nas faixas de HF a UHF. Na era atual em que a arquitetura de RDS permeia boa parte dos equipamentos vendidos pelos principais fabricantes, é comum a divisão em duas sub-faixas: HF (2 a 30 MHz); e V/UHF (30 a 512 MHz). Essa divisão se dá por razões doutrinárias, ou seja, em função do uso dessas faixas nos diferentes cenários de emprego

militar. O tamanho consideravelmente maior das antenas HF e a capacidade de transmissão da informação bem menor dos sistemas HF são limitações técnicas que influenciam essa distinção doutrinária.

No contexto do Programa RDS-Defesa, realizou-se recentemente uma busca ampla por antenas disponíveis comercialmente para sistemas de comunicações táticos terrestres. Cerca de cem prospectos técnicos de diversos fabricantes foram mapeados, tendo como objetivo a análise da forma de detalhamento das informações sobre os parâmetros básicos das antenas respectivas. Os fabricantes cujos prospectos foram analisados são os seguintes: Harris; Antenna Broadband Propagation; Codan Experts; Radio Communications; Comrod Communications Group; COBHAM; Hascall-Denke Corporation; Radiant Antennas; Rhode & Schwarz; e General Dynamics.

Numa primeira etapa, procurou-se identificar quais parâmetros aparecem com maior regularidade nos prospectos dos diferentes fornecedores. De modo geral, foram elencados os seguintes: faixa de operação; tipo de antena; diretividade máxima (ou ganho); potência máxima; tipo de rádio; polarização; impedância nominal; VSWR. As Tabelas I e II reproduzem os principais parâmetros de alguns prospectos de antenas omnidirecionais analisados respectivamente para as sub-faixas de HF e V/UHF. Os fabricantes respectivos não foram identificados nas tabelas para não criar expectativas de comparação de desempenho, tendo em vista que isso não faz parte do objetivo desta análise.

TABELA I. ALGUMAS ANTENAS TÁTICAS HF OMNIDIRECIONAIS

| Fabricante | Ganho (dBi) | VSWR / S ₁₁ (dB)* | Potência máxima (W) |
|------------|---------------|---------------------------------|------------------------|
| 1 | 3 | 2,5:1 / -7,4 | 500 |
| 2 | 0 | 2,0:1 / -9,5 | 150 |
| 3 | não informado | 3,5:1 / -5.1 | 200 |
| 4 | -16 a -2 | 3,0:1 / -6,0 | 150 a 400 |
| 5 | não informado | 2,0:1 / -9,5 | 400 |

^{*} Com relação a uma impedância de referência de 50 Ω.

TABELA II. ALGUMAS ANTENAS TÁTICAS V/UHF OMNIDIRECIONAIS

| Fabricante | Ganho (dBi) | VSWR / S ₁₁ (dB)* | Potência máxima (W) |
|------------|-------------|---------------------------------|------------------------|
| 1 | -5 a 1,5 | 3,5:1 / -5.1 | 50 |
| 2 | 2 | 3,0:1 / -6,0 | 250 |
| 3 | -10 a 2 | 2,0:1 / -9,5 | 100 |
| 4 | -12 a 0 | 2,5:1 / -7,4 | 200 |
| 5 | -17 a -2 | 3,8:1 / -4,7 | 50 |

^{*} Com relação a uma impedância de referência de 50 Ω.

Um primeiro aspecto que se destaca nas Tabelas I e II é a falta de uniformidade dos parâmetros de referência para resposta de impedância (VSWR ou S_{11}). Para mesma faixa nominal de operação, alguns fabricantes são mais rigorosos que outros na definição do critério de corte da banda de impedância, com limites de VSWR que variam quase 100% (2 para 3,8). Vale destacar, ainda, que a maioria não adota a referência clássica de 2,0:1 (ou mais precisamente 1,92:1 ou S_{11} = -10 dB), verificada em outros segmentos comerciais e na literatura científica. Fica evidente que essa informação não pode passar despercebida a quem precise adquirir uma antena disponível no mercado.

Outro fator marcante diz respeito à resposta de radiação das antenas. Alguns fornecedores informam apenas o ganho na direção de máxima radiação na frequência de menor VSWR, enquanto outros procuram apresentar a variação com a

frequência desse importante parâmetro. Embora não detalhado nas Tabelas I e II, outro aspecto verificado foi a falta de clareza quanto ao tipo de ganho. Mais especificamente, que eficiências o ganho informado inclui, tendo em vista que a Teoria de Antenas prevê três fontes de perda entre a entrada e a saída da antena: eficiência de radiação; eficiência de reflexão; e fator de perda de polarização [12]-[13]. Os valores de ganho negativos são indicativos de incorporação de pelo menos alguma dessas eficiências, mas não são suficientes para se ter certeza da contabilização de todas três.

Do ponto de vista de quem precisa especificar e adquirir antenas para rádios táticos terrestres, as informações contidas no prospecto técnico típico precisariam sofrer alguns ajustes e complementações. Em particular, para toda a faixa nominal de operação informada, além da resposta de VSWR (que é fornecida na maioria dos casos), seria importante acrescentar a resposta de "ganho percebido" (realized gain), que inclui as três eficiências discutidas no parágrafo anterior [13]. A polarização poderia ser abordada apresentando a resposta de ganho percebido em co-polarização e em polarização cruzada, tendo em vista que a maioria das antenas deste segmento é de polarização linear. Ainda, diagramas de campo (3D ou 2D em duas projeções ortogonais) deveriam ser fornecidos em mais de uma frequência ao longo da faixa nominal, como alguns fabricantes já o fazem.

IV. ESCOLHA DE ANTENAS PARA RDS TÁTICO TERRESTRE

Um RDS possui atributos que o diferenciam dos rádios com arquitetura tradicional, conferindo maior flexibilidade de operação e melhor capacidade de interoperabilidade com diferentes equipamentos e formas de ondas. Aspectos logísticos também são impactados pela adoção de rádios definidos por software, tendo em vista a potencialidade de um único equipamento substituir vários rádios convencionais.

Especificamente, um RDS tático terrestre deve apresentar as seguintes funcionalidades: capacidade de reconfiguração dinâmica; interoperabilidade; operação continuada com tamanho, peso e consumo de energia reduzidos (SWAP Operation, do inglês Small in size, Weight, And Power consumption); e baixa probabilidade de interceptação [7]-[8]. Todos esses atributos e funcionalidades trazem como contrapartida uma maior complexidade na especificação de certos componentes do RDS. O módulo de RF, antena(s) inclusa(s), é uma dessas estruturas que demandam atenção diferenciada de especificação e projeto.

Discutir requisitos gerais que sirvam a qualquer RDS é tarefa que não faz muito sentido, tendo em vista a dependência óbvia que o equipamento tem com o cenário de aplicação. Ainda assim, uma tentativa de generalização é apresentada em [4], [6], reproduzida na Tabela III.

TABELA III. Possíveis Requsitos Gerais de um RDS [4], [6]

| Parâmetro | Requisito geral | |
|------------------------------------|-----------------|--|
| Faixa de frequência de operação | 100 a 2200 MHz | |
| Largura de banda do canal ou sinal | < 8 MHz | |
| Potência de transmissão | 1 W | |

No caso do Programa RDS-Defesa, os requisitos não conferem totalmente com os da Tabela III. A faixa prevista começa ainda em MF (2 MHz) e as potências previstas são maiores, ao menos para as versões veiculares (os requisitos das versões portáteis ainda não foram definidos). A largura de banda máxima indicada, por outro lado, reflete a realidade do projeto.

A Tabela III, mesmo com suas limitações, aponta alguns parâmetros relevantes para escolha da antena (ou sistema de antenas) que deve ser especificada para um RDS genérico, mas está longe de ser suficiente. No caso de um RDS tático terrestre, para atingir esse propósito de forma plena, é preciso ponderar ainda os seguintes aspectos:

- caracterísitica predominante de radiação omnidirecional × direcional;
- 2. largura de banda de impedância × largura de banda de ganho;
- 3. restrições impostas pela plataforma de instalação da antena e configurações de uso do rádio;
- atuação em toda banda a qualquer tempo × capacidade de comutar para sub-faixas em função da operação de momento;
- 5. grau de capacidade de controle da antena (ou sistema de antenas) por parte do processador do RDS.

Cumpre destacar que esses cinco aspectos se relacionam diretamente com as quatro funcionalidades de um RDS tático terrestre listadas no início desta seção. Os aspectos 1 e 2 devem ser observados na busca pela baixa probabilidade de interceptação. O terceiro aspecto se relaciona com as funcionalidades de interoperabilidade e SWAP *Operation*. E a capacidade de reconfiguração dinâmica apresenta ligação com os aspectos 4 e 5.

Outra distinção que deve ser esclarecida quanto aos cinco aspectos elencados é que os três primeiros permeiam o processo de decisão de escolha da antena para qualquer rádio tático terrestre, definido por software ou não. Por sua vez, os aspectos 4 e 5 se referem especificamente a rádios definidos por software. Adicionalmente, todos os aspectos estão interrelacionados, o que representa um complicador a mais à tarefa de especificação da antena (ou sistema de antenas).

Sistemas táticos terrestres usualmente demandam omnidirecional, característica de radiação conforme depreendido pela análise da seção anterior. Antenas omnidirecionais apresentam ganhos (máximos) menores que os de antenas diretivas, a menos que a omnidirecionalidade seja obtida através de um conjunto de antenas. Qualquer que seja o caso, a definição desse aspecto traz impactos ao tamanho da antena (ou sistema de antenas) e a seu posicionamento na plataforma disponível. Tipicamente as omnidirecionais são antenas monopolo / dipolo ou suas derivações com maior largura de banda (como a dipolo dobrada, a dipolo cilíndrica ou a bicônica, por exemplo).

A largura de banda de uma antena é usualmente associada à resposta frequencial de sua impedância. Entretanto, nem sempre o desempenho da resposta de radiação acompanha o da resposta de impedância. Esse aspecto não pode ser desconsiderado na ponderação dos fatores que levam à escolha da antena (ou sistema de antenas) para o RDS tático. Idealmente, um parâmetro que combine os dois comportamentos, tal como o ganho percebido, seria o mais adequado para análise desse aspecto. Infelizmente, a especificação de desempenho utilizando esse parâmetro não é tão comum nos descritivos técnicos de antenas, conforme discutido na seção anterior.

A plataforma de instalação e os cenários de uso têm relação direta com o tamanho da antena (ou sistema de antenas) que poderá ser utilizada. Um rádio veicular tático terrestre, por

exemplo, tem a sua disposição (a princípio), a carroceria da viatura. É possível conceber a instalação de um único elemento radiante grande o suficiente para apresentar desempeho bandalarga, como também um sistema com vários radiadores bandaestreita comutáveis compondo uma antena reconfigurável. Um rádio portátil de mão, por outro lado, impõe reduções significativas às dimensões e ao peso da antena, o que leva a soluções que inevitavelmente sacrificam o desempenho, tendo em vista as limitações esperadas de estuturas radiantes eletricamente curtas [15]-[16].

O quarto aspecto é fundamental para decisão da estratégia quanto ao comportamento frequencial da antena ou sistema de antenas. Mais especificamente, se a solução tenderá ao uso de uma antena banda-larga (ou de banda ultra-larga) ou de uma antena reconfigurável em frequência, por exemplo. Alternativamente, a depender dos demais aspectos, pode-se partir para o uso de um sistema de antenas banda-estreita, em que cada elemento seria comutado em função da necessidade da operação de momento. Soluções que mesclem essas estratégias são também possibilidades a considerar.

Os aspectos 2 e 4 devem ser considerados em conjunto na definição da estratégia de casamento de impedância a ser aplicada [14]. No caso de antenas comerciais, é preciso checar se a antena já possui ou não estruturas com esse fim para a faixa nominal indicada. Alternativamente, pode-se adquirir uma antena auto-ressonante que não cubra totalmente a faixa nominal e projetar um filtro casador de impedância a ser conectado na interface da antena ao rádio. Outra estratégia possível é considerar o uso de redes casadoras de impedância. Uma rede externa não imporia necessidade de controle por parte do processador do RDS. Por outro lado, o projeto do RDS pode incluir essa funcionalidade em seu módulo de RF se julgado conveniente dentro do escopo do aspecto 5.

O quinto aspecto elencado reflete o impacto do grau de controle do processador do RDS sobre o módulo de RF, e tem forte relação com o quarto aspecto. Um RDS que não disponha de controle automatizado algum de seu módulo de RF impõe a necessidade de desempenho banda-larga de toda essa estrutura, inclusive a antena. A opção de uso de antenas banda-estreita que cubram por partes a banda total de operação do RDS pode até ser implementada sem a necessidade de interface de controle com o processador, conquanto a comutação manual dessas antenas conforme o uso seja aceitável.

O grau de complexidade ou sofisticação do algoritmo de controle da antena (ou sistema de antenas) deve ser definido preferencialmente no início do projeto de desenvolvimento do equipamento, pois tende a impactar tanto a arquitetura do hardware quanto a do software. Se desde a concepção original do RDS deseja-se a possibilidade de uso de antenas inteligentes, por exemplo, é necessário prever desde então as interfaces física e lógica entre o sistema de antenas e o processador para viabilizar os desempenhos desejados. Essa previsão desde a concepção é necessária mesmo no caso de soluções de sistemas de antenas que exijam controle menos sofisticado, como no exemplo do parágrafo anterior (chaveamento de antenas banda-estreita) ou em antenas reconfiguráveis.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho discutiu criticamente os principais aspectos a serem considerados na especificação ou projeto de antenas para um RDS tático terrestre. Para tal, tomou por base as configurações previstas no escopo do Programa RDS-Defesa,

que foi descrito de forma resumida, destacando os aspectos relevantes aos objetivos da discussão proposta, como contextualização inicial do trabalho.

Na sequência, foram apresentados resultados de um levantamento recente sobre parâmetros descritivos de antenas para rádios táticos, a partir de informações ostensivas de fabricantes diversos. Desses resultados, já se pôde perceber a falta de padronização na forma como o desempenho das antenas é informado. Ainda, como a faixa de operação nominal de certas antenas pode induzir a conclusões equivocadas quanto à uniformidade de desempenho da antena ao longo da banda, em especial quanto a seu comprotamento de radiação.

A discussão sobre a escolha de antenas para RDS tático terrestre elencou cinco aspectos principais a serem considerados. Cada aspecto foi abordado e exemplificado, destacando a relação com os demais, bem como com as funcionalidades específicas esperadas para esse tipo de RDS, sempre que pertinente.

Em que pese certa obviedade de alguns dos aspectos apontados no artigo, entende-se que a exposição de forma organizada, inter-relacionada e contextualizada ao cenário de aplicação de comunicações táticas terrestres tem o potencial de servir como orientação complementar ao complexo processo aqui abordado. Por fim, dando sequência a este trabalho, espera-se que a presente discussão sirva de base para a proposição de um modelo de padronização das especificações de antenas para um RDS tático terrestre.

REFERÊNCIAS

- [1] E. Buracchini, "The software radio concept", *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, no. 9, pp. 138–143, Set 2000.
- [2] W. Tuttlebee, Software Defined Radio: Enabling Technologies, Wiley, Jul 2002.

- [3] J.-F. Luy, T. Mueller, T. Mack, A. Terzis, "Configurable RF receiver architectures", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 75–82, Mar 2004.
- [4] P. B. Kenington, RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio, Artech House, 2005.
- [5] www.wirelessinnovation.org, último acesso em 10/03/2016.
- [6] P. S. Hall, P. Gardner, A. Faraone, "Antenna Requirements for Software Defined and Cognitive Radios", *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2262–2270, Jul. 2012.
- [7] M. G. C. Branco, F. A. Roelli, F. H. Silva, F. R. Pereira, G. C. Lima, M. A. Miquelino, R. P H. Moreno, S. L. Ribeiro, D. F. C. Moura e J. F. Galdino, "Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa Visão geral das primeiras contribuições do CPqD", Cadernos CPqD Tecnologia, v. 10, no. esp., pp. 9–16, Nov 2014.
- [8] J. F. Galdino, "Importância e Desafios do Programa Nacional Rádio Definido por Software", palestra apresentada no IME para alunos e professores da PG em Engenharia de Defesa, Rio de Janeiro-RJ, 07 Abr 2015.
- [9] C. G. Christodoulou, Y. Tawk, S. A. Lane, S. R. Erwin, "Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications", *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2250–2261, Jul 2012.
- [10] J. Costantine, Y. Tawk, S. E. Barbin, C. G. Christodoulou, "Reconfigurable Antennas: Design and Applications", *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 3, pp. 424–437, Mar 2015.
- [11] M. A. Schilling, Strategic management of technological innovation. 4th ed. Singapore: McGraw-Hill, 2013.
- [12] C. A. Balanis, Antenna theory: Analysis and design, 3rd ed., Wiley, 2005.
- [13] J. Volakis, Antenna Engineering Handbook, 4th ed, McGraw-Hill, 2007.
- [14] J. Rahola, "Optimization of frequency tunable matching circuits", in: 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Lisboa, Maio 2015, pp. 1–4.
- [15] J. Volakis, C. C. Chen, K. Fujimoto, Small Antennas: Miniaturization Techniques & Applications, McGraw-Hill, 2010.
- [16] L. Jofre, M. M. Vazquez, R. Serrano, G. Roqueta, Handbook on Small Antennas, EurAAP, 2012.