

Novas perspectivas tecnológicas para o emprego das comunicações no Exército Brasileiro

Ronaldo M. Salles, David F. C. Moura,** Jeronymo M. A. Carvalho*** e Marcelo R. Silva*****

Resumo

Este trabalho se propõe a dar uma breve visão geral sobre a estrutura das comunicações militares no Exército Brasileiro e como técnicas atuais de redes de dados podem contribuir em sua evolução.

Palavras-Chave

Comunicações militares, comunicações móveis, comando e controle.

Introdução

As redes de comunicação militares possuem características especiais que as distinguem das redes normais. Primeiramente, elas devem prover uma estrutura que permita o comando e o controle das ordens enviadas pelo escalão superior para o inferior. Este é um aspecto importante que molda as redes militares: a organização hierárquica de toda força militar.

Tomando como exemplo um exército padrão, este é composto por divisões, cada uma sendo formada por brigadas, que por sua vez são forma-

das por batalhões e suas companhias, as quais possuem pelotões e seus grupos de combate. Em uma situação de emprego de força militar, o todo é fracionado em suas unidades e subunidades de modo a garantir mobilidade e agilidade. Essa característica faz com que as redes de comunicação militares devam ser modulares, permitindo interoperabilidade entre as frações em qualquer situação e independência quando separadas sem interromper as comunicações.

Surge, assim, o problema da última milha militar: permitir as comunicações, em alta velocidade, de dados e voz, entre indivíduos móveis.

* Maj QEM do Exército Brasileiro, Ph.D. em Telecomunicações (Redes de Computadores), professor e coordenador da Pós-graduação em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro - RJ.

** Cap QEM, MSc em Engenharia Elétrica.

*** 1º Tenente QEM, graduado em Engenharia de Computação no IME.

**** 1º Tenente QEM, graduado em Engenharia de Computação no IME.

O cenário de emprego de uma força militar é de fundamental importância no desenvolvimento de sua rede de comunicações. Além das tradicionais situações de luta armada entre duas forças militares opostas (marítima, aérea e terrestre em ambiente desértico, de encosta, de floresta, de gelo etc.), outras são muito comuns nos dias atuais: manutenção da paz, contraterrorismo, assistência humanitária e guerra civil.

Cada tipo de situação descrita possui um conjunto de requisitos específicos. Não é possível manter uma estrutura de comunicação para cada tipo de emprego, nem mesmo treinar a tropa em diversos subsistemas diferentes. Deve existir, portanto, uma consciência da arquitetura peculiar às redes de comunicações militares de modo a prover os fundamentos para o correto e claro fluxo de informações e a interoperabilidade entre os diversos sistemas.

Tendo em vista as duas características já ressaltadas que diferem este tipo de rede das demais, uma subdivisão/classificação interna ainda deve ser feita com relação à estrutura de todo o sistema de comunicação militar: Subsistema Estratégico e Subsistema Tático.

O Subsistema Estratégico de Comunicações pode ser encarado como aquele utilizado em tempo de paz. Ele provê todas as funcionalidades necessárias para o correto funcionamento de uma força armada em seu cotidiano. De modo geral, possui enlaces com maior capacidade e menor mobilidade.

Já o Subsistema Tático de Comunicações é aquele empregado em treinamentos específicos ou em situações de combate real. Pode-se dizer que possui enlaces com menor capacidade e maior mobilidade. O presente documento tem seu foco neste último subsistema.

Como já foi mencionado, as redes de comunicação militares possuem diversas peculiaridades.

O Exército Brasileiro, em seu manual de campanha C 11-1,^[4] define os princípios de emprego das comunicações militares. A tabela 1 destaca tais princípios.

Tabela 1 – Princípios de emprego das comunicações militares no Exército Brasileiro

Princípio de emprego das ComMil	Descrição
Tempo integral	Operar 24 horas por dia, todos os dias.
Rapidez	Estabelecer contato em tempo útil para surtir os efeitos desejados
Amplitude de desdobramento	Estar operacional em todo o teatro de operações
Integração	Operar junto com os sistemas dos escalões superior e inferior
Flexibilidade	Adequar-se rapidamente às mudanças das operações táticas e das organizações militares
Apoio em profundidade	Apoio do escalão superior (mais recuado) para com os escalões subordinados (mais avançados)
Continuidade	Retomar as comunicações e mantê-las a qualquer custo, mesmo que o escalão considerado não seja o responsável
Confiabilidade	Estar sempre disponível, estabelecendo caminhos alternativos para a transmissão das mensagens
Emprego centralizado	Concentrar meios em centros e eixos de comunicações permitindo melhor aproveitamento dos mesmos
Apoio cerrado	Encurtar as distâncias sempre que possível para facilitar as comunicações
Segurança	Impedir ou pelo menos dificultar a obtenção da informação pelo inimigo
Prioridade	Estabelecer comunicação e transmitir mensagens de acordo com a prioridade preestabelecida

Esses princípios podem ser mapeados em cinco outros termos utilizados comumente na

concepção de redes de comunicações. Estes termos representam os objetivos técnicos que são discutidos no presente trabalho.

Tabela 2 – Mapeamento em princípios gerais dos princípios de emprego das comunicações militares no Exército Brasileiro

Princípios gerais	Princípio de emprego das comunicações militares
Escalabilidade	Amplitude de desdobramento, Integração
Desempenho	Tempo integral, Rapidez, Confiabilidade, Continuidade, Prioridade
Segurança	Segurança
Gerenciabilidade	Apoio em profundidade, Emprego centralizado, Apoio cerrado
Usabilidade	Flexibilidade

Escalabilidade: pode-se definir esta grandeza como sendo a capacidade de um sistema expandir-se sem degradar-se. Assumiremos que o grau de escalabilidade está satisfatório quando, mesmo com a ativação de todos os componentes possíveis de uma rede, os parâmetros relacionados ao desempenho desta rede permanecem inalterados.

Desempenho: existem vários aspectos associados ao desempenho, são tratados a seguir alguns de maior relevância para a maioria das aplicações:

- Atraso: Deve ser menor do que 150ms.^[1] Caso contrário deve-se tomar medidas compensatórias (FEC, bufferização etc);
- Jitter: Caso a variação de atraso esteja comprometendo a iteratividade, deve-se empregar técnicas (*fixed playout delay*,^[1] *adaptive playout delay*,^[1]) para remoção dos seus efeitos;
- Acurácia: taxa de erro de *bit* de 0.0001 para dados e 0.01 para voz;^[15]

- Disponibilidade: é a razão (Tempo Disponível)/ (Tempo de Funcionamento). Deve ser de 100%. Mecanismos de gerência e redundância devem ser usados para atingir este objetivo.
- Redundância: A rede deve ser capaz de estar em pleno funcionamento com apenas 50% dos seus recursos.
- Prioridade: Emprego de mecanismos para atender fluxos prioritários (p.ex. DiffServ,^[14] IntServ^[14])

Segurança: todos os recursos devem ser protegidos, o que exige o uso de senhas, criptografia, controle rígido de usuários. Periféricos (CD/DVD-ROM, USB etc.) só em máquinas exclusivas para administradores. Transmissões em espaço livre fazendo uso de espalhamento de espectro e salto de frequências. Encaminhamento de fluxos pela Internet através de VPN com tecnologia privativa.

Gerenciabilidade: capacidade de levantar-se os parâmetros da rede para utilização deles como base para ações preventivas. Exige-se, portanto, uma arquitetura gerencial cooperativa, o estudo contínuo da composição do tráfego nas diversas linhas, um controle rígido da utilização dos enlaces e a visualização multidimensional da rede.

Usabilidade: Diz respeito a facilidade de utilização e configuração dos elementos da rede (geralmente medida pelos níveis de automação). Assim, os elementos móveis devem ter acesso pervasivo à rede; a segurança deve ser transparente para os usuários cadastrados; e integrações previstas com outros sistemas devem seguir os padrões de configuração comuns ao sistema em questão.

Doutrina e Manuais de Emprego das Comunicações no Exército Brasileiro

Esta seção apresenta, de forma sucinta, a doutrina de Emprego das Comunicações no

Exército Brasileiro, escalão Brigada, descrevendo o significado, a missão e composição do Sistema Tático de Comunicações de Brigada (SISTAC/Bda). Descreve-se também o órgão responsável pelo SISTAC/Bda (a Companhia de Comunicações), sua constituição e atividades desempenhadas.

Sistema de Comando e Controle do Exército

O Sistema de Comando e Controle é um sistema auxiliar do comandante, com a finalidade de apoiar e facilitar a tomada de decisões.^[1] Com tal propósito, o Exército Brasileiro estrutura o Sistema de Comunicações do Exército (SICOMEx) em SEC (Sistema Estratégico de Comunicações) e SISTAC (Sistema Tático de Comunicações).^[3] Além disso, o modelo utilizado permite a ligação com o Sistema Nacional de Telecomunicações (SNT) e com os demais sistemas governamentais.

O SEC tem por objetivo o estabelecimento das ligações de longa distância, dentro do território nacional, para o atendimento das necessidades correntes e estratégicas do Exército, podendo, excepcionalmente, prestar apoio de comunicações a qualquer escalão do Exército Brasileiro no exterior. Para tanto, este sistema dispõe de meios de comunicações de grande versatilidade para o estabelecimento das ligações, como a Rede Corporativa Privativa do Exército (EBNet), as Redes Rádio do Sistema Estratégico de Comunicações (RRSEC) e a Rede Integrada de Telecomunicações do Exército (RITEx). Além desses, permite a integração com sistemas de comunicações do Ministério da Defesa e de outros Ministérios, como o Sistema de Comunicações Militares por Satélite (SISCOMIS) e o Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM).

Já o SISTAC é o conjunto de meios de comunicações e informática pertencente a unidades operacionais do Exército Brasileiro, destinado ao

preparo e emprego de tropas. Sua utilização, portanto, se dá em missões de adestramento ou em operações de campanha. Este sistema, que é o foco do presente trabalho, está subdividido em SCA (Sistema de Comunicações de área) e SCC (Sistema de Comunicações de Comando).

O SCA é o sistema que permite o estabelecimento de centros nodais (CN),^[4] os quais formam uma malha de comunicações para atender às necessidades de ligações entre todas as unidades que se encontram em determinada área de operações. Já o SCC é o conjunto de recursos humanos, instalações, procedimentos e equipamentos de comunicações destinados a suprir as necessidades específicas de ligações de um escalão de comando e seus subordinados.

Sistemas de Comunicações

Os escalões da Força Terrestre utilizam, em suas ligações em operações, diversos tipos de sistemas de comunicações, os denominados sistemas de enlace. Conforme preconizado em,^[4] estes são subdivididos em:

- *Sistema de Enlace por Satélite*, com o emprego de satélites artificiais e estações terrestres transmissora e receptora;
- *Sistema de Enlace por Microondas* em Visada Direta, no qual transceptores e repetidores rádio são utilizados em transmissões majoritariamente na faixa de UHF (300MHz a 3GHz);
- *Sistema de Enlace por Tropodifusão*, utilizado em regiões inóspitas e que oferecem dificuldades à instalação de repetidores rádio, valendo-se das características de propagação das ondas eletromagnéticas na faixa de UHF pela troposfera;
- *Sistema de Enlace Físico*, com o emprego de meios de transmissão de ondas guiadas (fios e cabos telefônicos, fibras e cabos

ópticos) e equipamentos de transmissão e recepção;

- *Sistema de Enlace por Mensageiro*: utilização do mensageiro como agente de comunicações; e
- *Sistema de Enlace Rádio em HF ou VHF*: emprego dos materiais rádio com faixas de operação em HF e VHF de dotação do Exército.

Como parte das ações do Programa de Excelência Operacional do Comando de Operações Terrestres, em meio ao Plano de Modernização e Integração do Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre (SC2Fter), vive-se atualmente o período de desenvolvimento do Projeto Comando e Controle em Combate, voltado ao emprego de uma Grande Unidade em campanha.^[9]

A implementação e a modernização do atual SC2Fter baseiam-se, fundamentalmente, na implantação dos Módulos de Telemática (MT) de Brigada, em uma primeira fase, e, numa segunda fase, dos MT de Divisão de Exército, bem como no desenvolvimento do programa de Comando e Controle da Força Terrestre (C2Fter) para o escalão Brigada, a ser executado pelo Centro Integrado de Guerra Eletrônica.

O Módulo de Telemática, desenvolvido pelo Centro Tecnológico do Exército, é constituído de um Centro de Interface e Integração, como elemento concentrador e repetidor dos enlaces entre a Brigada e seus elementos subordinados até o escalão subunidade como fração isolada. Tais enlaces podem ser promovidos por diversos sistemas:

- central telefônica de campanha;
- rede telefônica de campanha;
- sistema celular de campanha;
- LAN e WAN;
- enlaces de alta velocidade na faixa de microondas; e
- redes rádio de campanha em HF e VHF (baixa velocidade).

O SISTAC de Brigada

O Manual de Campanha C11-30 do Exército Brasileiro (As Comunicações na Brigada) descreve as peculiaridades e orientações quanto ao emprego e planejamento dos SISTAC em uma Brigada. Este escalão de emprego é adotado no presente trabalho como referência para descrição dos meios e formas de emprego dos diferentes sistemas de enlace no âmbito da Força Terrestre.

A responsabilidade pelo gerenciamento e desdobramento do SISTAC/Bda cabe à Cia Com orgânica da Brigada. De maneira geral, os sistemas de enlace mais utilizados são os sistemas rádio e físico. O sistema rádio deve ser utilizado de forma restrita, dada a vulnerabilidade a ações de Guerra Eletrônica; contudo, dada sua flexibilidade e rapidez de desdobramento, pode se constituir na base do SISTAC. O estabelecimento das redes rádio se dá em consideração aos seguintes fatores:

- situação tática;
- finalidade da rede;
- disponibilidade de meios e freqüências;
- volume de tráfego; e
- outras condições, de ordem técnica.

Apesar desta declaração exarada no Manual de Campanha, percebe-se a prevalência do emprego de sistemas em HF, empregando a técnica de modulação SSB, com ou sem mecanismos de transmissão de dados. Somente as redes do Comandante (tanto interna à Brigada como externa, em contato com a DE ou o Ex Cmp) e a Rede de Alarme da Brigada são constituídas, normalmente, com equipamentos em VHF, técnica de modulação FM.

O sistema de enlace físico apresenta um elevado grau de segurança; entretanto, em função da dificuldade de estabelecimento, é empregado de forma complementar, nas situações onde há tempo disponível para seu desdobramento.

Os circuitos e troncos são lançados a partir dos Postos de Comando. O número de ramais lançados varia de um a três, dependendo do elemento apoiado – o maior número de ramais é lançado para os Sistemas Operacionais Apoio de Fogo e Logístico.

Alguns exemplos de desdobramento dos sistemas de enlace rádio e físico por uma Cia Com orgânica de uma Brigada estão descritos nas figuras 1 e 2, respectivamente. As convenções cartográficas adotadas são as descritas em.^[5]

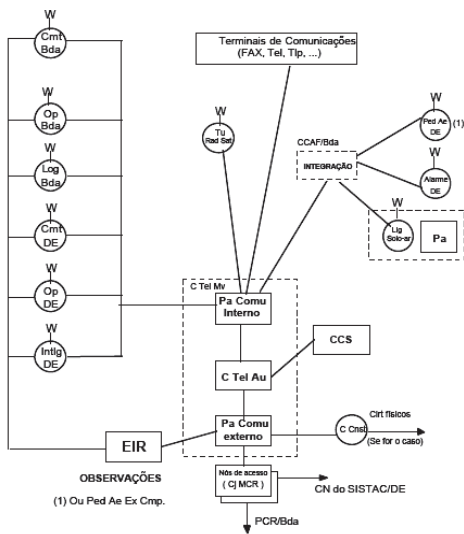


Figura 1 – Centro de Comunicações do PC da Brigada.

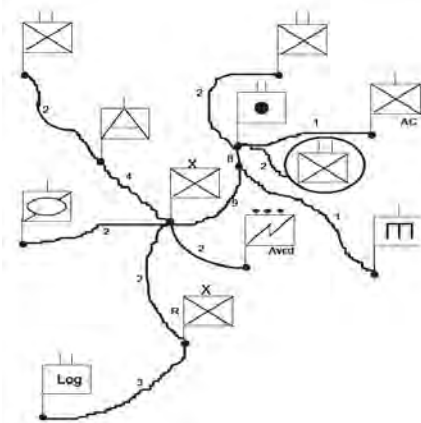


Figura 2 – Desdobramento do Sistema de Enlace Físico em uma Brigada.

Requisitos Operacionais Básicos do Sistema de Comando e Controle

Diante da necessidade de um sistema automatizado de suporte às atividades de Comando e Controle, o Exército Brasileiro definiu os requisitos operacionais básicos (ROBs) deste sistema para os níveis Brigada e Divisão.

Os requisitos são divididos em três categorias, a saber: *Absolutos* têm peso 10 e devem obrigatoriamente ser satisfeitos; *Desejáveis* têm peso seis e não são obrigatórios; e *Complementares* com peso três. Ao todo são 21 requisitos *Absolutos*, 29 requisitos *Desejáveis* e 3 requisitos *Complementares*. A lista completa dos ROBs foi omitida deste documento, mas pode ser encontrada em.^[8]

Da análise de todos os requisitos fizemos uma classificação de acordo com os princípios gerais vistos anteriormente na tabela 2, ressaltando-se que os ROBs mais intimamente ligados a requisitos de softwares foram associados ao desempenho (já que a rede deve dar suporte à funcionalidade), e/ou usabilidade.

Dos 21 requisitos *Absolutos* (peso 10) definidos pelo EB, conseguimos classificar 12 quanto ao princípio da *Usabilidade*, 9 quanto ao *Desempenho*, 3 quanto à *Escalabilidade*, 2 quanto à *Segurança* e 1 quanto à *Gerenciabilidade*. Observou-se que um único requisito pode atender a mais de um princípio.

Dos 29 requisitos *Desejáveis* (peso 6) definidos pelo EB, conseguimos classificar 14 quanto ao *Desempenho*, 11 quanto à *Usabilidade*, 7 quanto à *Escalabilidade*, 4 quanto à *Gerenciabilidade* e 1 quanto à *Segurança*.

Dos três requisitos *Complementares* (peso três) definidos pelo EB, conseguimos classificar um quanto ao *Desempenho*, um quanto à *Usabilidade*, um quanto à *Escalabilidade* e um quanto à *Segurança*.

Diante desta classificação pode-se agora avaliar o grau de importância de cada princípio, bastando para isso somar os pesos obtidos nos três requisitos. Tem-se:

Tabela 3 – Princípios utilizados comumente na concepção de redes de comunicações e os correspondentes pesos de acordo com os requisitos militares.

Princípio	Peso Total	Percentual
Usabilidade	189	37,5%
Desempenho	177	35,1%
Escalabilidade	75	14,9%
Gerenciabilidade	34	6,7%
Segurança	29	5,8%

Dessa forma, os resultados da tabela acima podem ser utilizados para que se possa melhor avaliar o emprego de novas tecnologias de telecomunicações nos sistemas de comunicação do Exército Brasileiro.

Aspectos a serem considerados em redes de comunicação militares

Triângulo de compensação

Todos os requisitos já mencionados em seções anteriores são importantes, porém três deles são estritamente relacionados e constituem um forte compromisso no sistema de comunicação militar: alcance, capacidade e mobilidade. O forte relacionamento existente se dá, em geral, pelo fato que ao variar um dos fatores os outros dois também variam. Na verdade, ao se maximizar dois fatores o terceiro acaba sendo minimizado. A figura 3 exemplifica tal situação, o triângulo de compensação se constitui em uma forma rápida e simples de avaliação da pertinência de uma determinada tecnologia de

comunicação quanto ao emprego em uma operação militar.

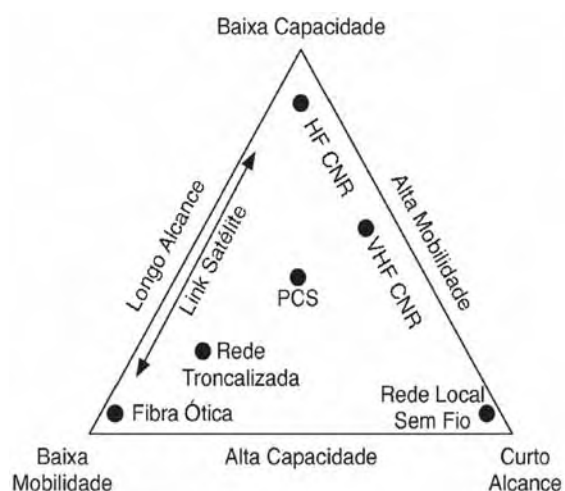


Figura 3 – Capacidade x Mobilidade x Alcance.

Suporte das comunicações à consciência situacional

As comunicações devem suportar a consciência situacional em todos os níveis em tempo real ou pelo menos em algo entorno disto. Infelizmente, este objetivo não pode ser atingido pelo emprego de uma estrutura hierárquica de comunicação. Este tipo de comunicação leva a agregação de dados, que exige que os escalões superiores suportem taxas de transmissão muitas vezes maiores do que aquelas geradas nos escalões mais baixos. Para ilustrar, se quatro pelotões geram 6.4Kbps de tráfego, a divisão, em uma estrutura hierárquica tradicional, deverá ser capaz de suportar um tráfego de aproximadamente 2Mbps.^[10] Para evitar a agregação de dados, as redes militares devem estar estruturadas por rede, na qual os componentes orgânicos são apenas usuários de uma infra-estrutura concebida de acordo com os requisitos da operação.

Um sistema tático de comunicação precisa, portanto, para tal cenário, atender a uma

série de requisitos. Nenhuma infra-estrutura de comunicação reúne condições de suportar todos esses requisitos simultaneamente. Geralmente um sistema que possibilita alta mobilidade, por exemplo, não será dotado de altas taxas de transmissão. Sendo assim, um sistema tático de comunicação deve ser uma única estrutura lógica integrada por múltiplas tecnologias de enlace, atuantes nos subsistemas como vistos na figura 4.



Figura 4 – Modelo de sistema tático.

O subsistema de dados disponibiliza altas taxas de transmissão de dados, visando dar suporte ao acompanhamento das operações em tempo real, preconizado pelas atividades de Comando e Controle. Já o subsistema combate rádio provê transmissão de dados e voz primando pela alta mobilidade, enquanto que o subsistema troncalizado visa atender à comunicação entre elementos de comando, com grande volume de tráfego.

Os subsistemas são concebidos através de tecnologias que devem ser avaliadas de acordo com os aspectos preconizados por cada um desses subsistemas.

Caracterização do Tráfego e Usuários

Descreve-se aqui uma proposta de caracterização de tráfego para a Força Terrestre abordada em,^[10] com descrição de composição,

número de usuários, sistemas empregados e capacidade requerida para o escalão Exército de Campanha e subordinados.

O Manual de Campanha Centro de Comunicações,^[6] do Estado-Maior do Exército, descreve as instruções relativas à organização, instalação e funcionamento dos Centros de Comunicações (C Com) apoiados pelo computador. Conforme descrito, a Força Terrestre se vale de diversos sistemas de enlace para promover a integração da tropa em combate; contudo, mesmo nesse manual de campanha, não são descritas características importantes para o desdobramento dos Sistemas de Comunicações, como número de equipamentos rádio, sistemas de enlace utilizados, número de usuários, número de redes rádio (cada uma com um par de frequências – principal e secundária) e tráfego médio gerado para os diversos escalões.

Em,^[10] os autores apresentam, além de um esboço da estrutura organizacional de um exército em campanha, as características do apoio de comunicações ao combate. Esta referência considera, para efeito de análise, um Corpo de Exército de Infantaria, descrevendo as necessidades em comunicações até o nível esquadra. Como requisitos de tráfego, os autores consideram uma Brigada Mecanizada, empregada em distâncias convencionais e dotada de um sistema de Comando e Controle com emprego de mensagens pré-formatadas e capaz de promover a atualização, a cada segundo, da situação das viaturas dispersas no terreno. Diversas referências são feitas a experiências dos exércitos norte-americano e inglês, bem como a artigos apresentados em conferências internacionais, como a *Military Communications Conference* (MILCOM). A despeito do ano de publicação destes trabalhos (2002), os dados apresentados serão utilizados para ilustração na tabela a seguir:

Tabela 4 – Proposta de Caracterização de Tráfego em Sistemas de Comunicações Táticas.

Escalão	Redes	Usuários	Sistemas	Distância	Tráfego
Esquadra	0	0	(a), (b)	200m	0
Pelotão	0	0	(b), (c), (d)	500m	8kbps
Companhia	1	10	(b), (c), (d), (e)	1km	32kbps
Batalhão	10	100	(b), (c), (d), (e), (f), (g)	4km	128kbps
Brigada	50	600	(b), (c), (d), (e), (f), (g), (h)	12km	512kbps
Divisão	160	2.000	(b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i)	25km	2Mbps
Corpo de Exército	500	6.000	(b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), (j)	50km	8Mbps

Legenda

- a – Sinais
- b – Mensageiro
- c – Voz
- d – Telefone Manual
- e – Rádio em VHF
- f – Rádio em HF para frações distantes
- g – Rádio em UHF para comunicação terra-avião
- h – Telefone Automático
- i – Sistema Troncalizado (*trunking*)
- j – Enlaces de Alta Velocidade

Tais fatos indicam que a concepção do Módulo de Telemática mostra-se adequada à realidade operacional de outros exércitos que dispõem de modernos sistemas de Comando e Controle empregados em situações de combate convencional e de garantia da lei e da ordem nos últimos 10 anos.

Tecnologias existentes

Nesta seção algumas tecnologias são estudadas quanto ao possível emprego em Sistemas Táticos de comunicação no Exército Brasileiro.

– Rede Rádio de Combate com Transmissão Digital

Utiliza a rede rádio legada para transmissão de dados. Pode trabalhar em HF (taxas de aproximadamente 2.4Kbps) ou em UHF/VHF com taxas de 16Kbps, utilizando-se modems específicos.^[10]

– Rede Pacote Rádio

Utiliza a mesma estrutura convencional das Redes Rádio de Combate, interligando diversas sub-redes através de máquinas *bridges*, proporcionando re-broadcast.^[10-11]

– Redes Ad-Hoc

Redes Ad Hoc é um tópico de crescente importância nas redes de comunicação sem fio. Nos anos 70 e 80, as pesquisas em redes Ad Hoc tinham caráter basicamente militar.^[11]

A maleabilidade de sua topologia e a ausência de necessidade de infra-estrutura prévia permitem um rápido desenvolvimento de uma rede. Nenhuma preparação da área de cobertura é necessária porque itens como torres ou linhas de transmissão não são necessários. Estes atributos das redes Ad Hoc as diferenciam das redes do tipo estação-base, nas quais a conectividade é conhecida *a priori*.^[12] Por estes motivos, elas são adequadas às comunicações próprias dos campos de batalha, onde, na maioria das vezes, nenhuma infra-estrutura prévia está disponível.

Os pontos chaves dessas redes são o controle de acesso ao meio, utilizado para compartilhar os recursos de canal entre os nós, e o roteamento, que consiste em encontrar uma rota

entre emissor e receptor através de um número desconhecido de nós intermediários.^[13]

As taxas variam com a tecnologia *wireless* empregada.

– TDMA Repetido

Cada estação transmite em um *slot* de tempo próprio. A temporização é determinada por uma estação de controle. Alcançam taxas de aproximadamente 500Kbps.^[10]

– Redes de Arquitetura Estação-Base

Fazem uso de uma estação base para intermediar a comunicação entre quaisquer duas estações. Entre as redes mais comuns que se

utilizam desta arquitetura estão: Telefones celulares e rádios Half-duplex de dupla frequência.^[10]

– Redes Rádio UWB^[16]

Opera na faixa de 3,1GHz a 10,6GHz. O padrão de transmissão sem fio UWB utiliza sinais de rádio de baixa energia na forma de pulsos curtos (0.1 a 1.5ns). Com a geração de milhões de pulsos por segundo, o UWB pode atingir velocidade de até 100Mbps e alcance de até 10m.^[10]

As tabelas 5 e 6 procuram resumir as respostas destas tecnologias aos critérios operacionais; as áreas escuras revelam os aspectos críticos dessas tecnologias.

Tabela 5 – Subsistema Rádio de Combate.

Tecnologia Requisito	Rede Rádio de Combate com suporte a Dados	Rede Rádio de Pacotes	Rede Ad Hoc	TDMA Repetido	Arquitetura Base-Estação	UWB
Compromisso entre Alcance, Capacidade e Mobilidade	Alta mobilidade Baixa capacidade	Alta mobilidade Baixa capacidade	Alta mobilidade Baixa a moderada capacidade	Alta mobilidade, Baixa capacidade por usuário	Alta mobilidade Baixa capacidade	Alta mobilidade Moderada capacidade
C2 móvel	Bom	Bom	Bom	Moderado	Pouco	Bom
QoS	Voz e Dados	Voz e Dados	Voz e Dados	Dados apenas	Voz e Dados	Voz e Dados
Capacidade Multicast	Boa	Boa	Boa	Boa	Freqüentemente insuficiente	Boa
Flexibilidade	Boa	Boa	Fraca para operações dispersas	Fraca para operações dispersas	Fraca	Fraca para operações dispersas
Facilidade de conexão	Fraca	Boa; Apenas Dados	Boa; Apenas Dados	Boa; Apenas Dados	Requer implementação	Requer implementação
Segurança	Aplicável	Inerente	Inerente	Inerente	Nenhuma em sistemas comerciais	Inerente
EP	Inerente ou Aplicável	Inerente	Inerente	Inerente	Nenhuma em sistemas comerciais	Inerente
Fonte de potência	Baixa potência	Baixa potência	Potência Moderada	Potência Moderada a Alta	Potência Alta para a Estação Base	Baixa potência

Tabela 6 – Subsistema de Dados.

Tecnologia Requisito	Rede Rádio de Combate com suporte a Dados	Rede Rádio de Pacotes	Rede Ad Hoc	TDMA Repetido	Arquitetura Base-Estação	UWB
Compromisso entre Alcance, Capacidade e Mobilidade	Capacidade Insuficiente	Capacidade insuficiente	Capacidade insuficiente	Alta capacidade e mobilidade	Estação-Base deve ser estacionária	Potencial para alta capacidade e mobilidade
C2 móvel	Sim	Sim	Sim	Sim	Estação-Base deve ser estacionária	Sim
Suporte à Cadeia de Comando	Baixa performance quando congestionado	Baixa performance quando congestionado	Baixa performance quando congestionado	Sim	Estação-Base não possui recursos suficientes	Sim
Capacidade Multicast	Eficiente dentro da rede	Eficiente dentro da rede	Pode não ser eficiente	Muito eficiente	Ineficiente	Eficiente para curtas distâncias
Facilidade de conexão	Ruim	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa
Segurança	Não	Sim	Sim	Sim	Não (em sistemas comerciais)	Sim
EP	Muito limitado	Sim	Sim	Sim	Não	Sim

Métricas

Com intuito de tornar mais concreto o significado dos aspectos acima listados, cada um deles foi associado aos seguintes objetivos técnicos: *Usabilidade, Desempenho, Escalabilidade, Gerenciabilidade e Segurança* (tabela 7).

Confrontando a tabela 7 com as características principais das tecnologias apresentadas nas tabelas 5 e 6, pode-se concluir que, para o Subsistema Rádio de Combate, as tecnologias TDMA Repetido e Arquitetura Base-Estação não atendem aos objetivos técnicos e, por conseguinte, aos ROBs dos Sistemas de Comando e Controle. A melhor opção para este subsistema seria mesmo a Rede Rádio de Pacotes, seguida das Redes Ad Hoc e tecnologia UWB.

Para o caso do Subsistema de Dados, a situação já é diferente. As tecnologias de Rede Rádio e Rede Ad Hoc não oferecem capacidade

suficiente, ficando o TDMA repetido e a tecnologia UWB como melhores opções.

Discussão

O artigo procurou fazer uma breve análise das redes de comunicação militares à luz dos princípios e requisitos preconizados nos manuais de campanha e nos ROBs do Exército Brasileiro. O mapeamento dos requisitos em cinco objetivos técnicos (usabilidade, desempenho, escalabilidade, gerenciabilidade e segurança) teve o intuito de simplificar a análise e permitir uma mais direta avaliação das tecnologias disponíveis quanto às suas aplicações nos subsistemas de comunicação do Exército. Procurou-se também abordar uma série de aspectos que podem ser importantes durante o projeto ou especificação

**Tabela 7 – Classificação dos Requisitos dos Subsistemas de Comunicação Militar.
Os requisitos em destaque abrangem mais de um objetivo técnico.**

	Subsistema Rádio Combate	Subsistema de Dados
Usabilidade (37,5%)	Capacidade de C2 em movimento; Flexibilidade; Facilidade de conexão; Fonte de potência.	Capacidade de C2 em movimento; Facilidade de conexão
Desempenho (35,1%)	Compromisso entre alcance-capacidade- mobilidade; QoS; Multicast;	Compromisso entre alcance-capacidade- mobilidade; Multicast;
Escalabilidade (14,9%)	Capacidade de C2 em movimento; Compromisso entre alcance-capacidade-mobilidade; Suporte à cadeia de comando e à tática;	Capacidade de C2 em movimento; Compromisso entre alcance-capacidade- mobilidade;
Gerenciabilidade (6,7%)	Gerência de Rede	Gerência de Rede
Segurança (5,8%)	Segurança; Fonte de potência.	Segurança

de sistemas de comunicação no âmbito do Exército para as comunicações táticas.

Os autores acreditam também que o enlace é apenas um dos componentes dos sistemas de comunicação, e o trabalho de modelagem, especificação, projeto e operação de redes não pode se limitar a este escopo apenas. É preciso investigar com maior profundidade as questões levantadas neste trabalho, bem como uma série

de outros aspectos relativos à gerência e alocação de recursos de todo o sistema, para que as redes de comunicação militares possam efetivamente atender aos seus objetivos, conforme preconizado pelo Exército.

Este trabalho se constitui em uma breve introdução ao assunto, deixando uma série de outras tecnologias e aspectos técnicos ainda a serem estudados.



Referências

- [1] Estado-Maior do Exército, *C 11 - 61: Comunicações na Divisão de Exército*, Brasília, DF, 1995.
- [2] Estado-Maior do Exército, *C 11 - 30: As Comunicações na Brigada*, Brasília, DF, 1998.
- [3] Francisco Antonio do Amaral Brathwaite, *Integração dos Sistemas Estratégico e Tático de Comunicações*, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, 2002.
- [4] Estado-Maior do Exército, *C 11 - 1: Emprego das Comunicações*, Brasília, DF, 2ª Edição, 1997.
- [5] Estado-Maior do Exército, *C 21 - 30: Abreviaturas, Símbolos e Convenções Cartográficas*, Brasília, DF, 4ª Edição, 2002.
- [6] Estado-Maior do Exército, *C 24 - 17: Centro de Comunicações*, Brasília, DF, 2ª Edição, 2001.
- [7] Brasil, *Portaria n 012-EME-Res do Comandante do Exército*. Estabelece os atributos essenciais para o material rádio componente do Sistema Tático de Comunicações, Brasília, DF, Março 2001.

- [8] Brasil, *Portaria n 032-EME-Res do Comandante do Exército*. Estabelece os Requisitos Operacionais Básicos do Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre (SC2FTer), níveis Bda e DE, Brasília, DF, Maio 2003.
- [9] Jomar Barros de Andrade, *Os efeitos da modernização do Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre (SC2FTER) sobre o Sistema de Comunicações da Brigada*, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, 2006.
- [10] Michael J. Ryan and Michael R. Frater, *Tactical Communications for the Digitized Battlefield*, Artech House Publishers, 2002.
- [11] M. Leiner, D. L. Nielson, FA. Tobagi, *Special Issue on Packet Radio Networks*, Proceedings of the IEEE, Volume 75, nº 1, Jan. 1987.
- [12] Cook, J. L.; Ramirez-Marquez, J.E., *Capacitated Reliability for Ad-hoc Networks*, Reliability and Maintainability Symposium, Jan 2007, Page(s):192 – 195.
- [13] Bangnan Xu; Hischke, S.; Walke, B, *The role of ad hoc networking in future wireless communications*, Communication Technology Proceedings, ICCT 2003, Volume 2, April 2003, Page(s):1353 – 1358.
- [14] Larry L. Peterson, Bruce S. Davie, *Computer Networks: A Systems Approach*, Fourth Edition, 2007.
- [15] J.M. Torrance and L. Hanzo, *Optimisation of switching levels for adaptive modulation in slow Rayleigh fading*, ELECTRONICS LETTERS, Volume 32, Nº 13, June 1996.
- [16] Kohno, R. and Takizawa, K. *Overview of research and development activities in NICT UWB consortium*, IEEE International Conference on Ultra-Wideband, ISBN: 0-7803-9397-X, 2005, pp. 735 – 740.

**“Ainda não se levantaram as barreiras
que digam ao gênio: daqui não passarás.”**

Beethoven

**“Creio que se Deus nos colocou nesta terra de
tantas belezas foi para que sejamos felizes.”**

Baden Powell