

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO
ESCOLA MARECHAL CASTELLO BRANCO

Maj Com **RENAN ALVES DOS SANTOS**

**Avaliação dos Sistemas de Comando e Controle
Planejados em Exercício de Simulação Construtiva no
nível Divisão de Exército**



Rio de Janeiro
2023

Maj Com **RENAN ALVES DOS SANTOS**

**Avaliação dos Sistemas de Comando e Controle
Planejados em Exercício de Simulação Construtiva no
nível Divisão de Exército.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Ciências Militares, com ênfase em Defesa Nacional.

Orientador: Ten Cel **JÚLIO CÉSAR AGUIAR SIQUEIRA**

Rio de Janeiro
2023

S237a Santos, Renan Alves dos.

Avaliação dos Sistemas de Comando e Controle Planejados em Exercício de Simulação Construtiva no Nível Divisão de Exército. / Renan Alves dos Santos.—2023.

59 f. : il. ; 30 cm.

Orientação: Júlio César Aguiar Siqueira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Militares)— Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2023.

Bibliografia: f. 58-59

1. Comando e Controle 2. Comunicações 3. Simulação Construtiva
4. Divisão de Exército. I. Título.

CDD 355.4

Maj Com **RENAN ALVES DOS SANTOS**

**Avaliação dos Sistemas de Comando e Controle
Planejados em Exercício de Simulação Construtiva no
nível Divisão de Exército.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Comando e
Estado-Maior do Exército, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Especialista em Ciências Militares, com
ênfase em Defesa Nacional.

Aprovado em _____.

COMISSÃO AVALIADORA

Julio Cesar **Aguar Siqueira** – Ten Cel - Presidente
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

Deivid Neto de Oliveira – Ten Cel - Membro
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

Fernando Griep de **Souza Franco** – Ten Cel - Membro
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

À minha esposa Ana Luiza. Esta singela homenagem é só mais uma demonstração do apreço pela paciência, compreensão e solidariedade durante os longos períodos envolvidos em nossos respectivos trabalhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que me ensinaram desde cedo que o conhecimento é a base da verdade e o fundamento do futuro.

Ao meu orientador, Ten Cel Aguiar Siqueira, paciência e dedicação despendidas nas orientações emitidas em cada fase do trabalho.

LISTA DE ABREVIATURAS

AD	Artilharia Divisionária
AR	Auto Rebocada
B Com	Batalhão de Comunicações
B Com GE	Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica
Bda	Brigada
Bda C Bld	Brigada de Cavalaria Blindada
Bda Inf Mec	Brigada de Infantaria Mecanizada
Bda Inf Mtz	Brigada de Infantaria Motorizada
BLB	Base Logística de Brigada
BLT	Base Logística Terrestre
C Ap	Comando e Apoio
C2	Comando e Controle
CBO	<i>Congressional Budget Office</i>
CC ²	Centro de Comando e Controle
CCS	Centro de Controle de Sistemas
Cia Com Nd	Companhia de Comunicações Nodal
Cia GE	Companhia de Guerra Eletrônica
Ciber	Cibernética
Cmdo	Comando
CN	Centro Nodal
COGE	Centro de Operações de Guerra Eletrônica
COp	Centro de Operações
COTER	Comando de Operações Terrestres
DE	Divisão de Exército
DIREx	Direção do Exercício
DSMC	Diagrama do Sistema Multicanal
EB	Exército Brasileiro
EBNet	Rede Corporativa de Dados do Exército Brasileiro
ECEME	Escola de Comando e Estado-Maior do Exército
EIR	Equipamento de Interface Rádio
EM	Estado-Maior
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>

G Cmndo	Grande Comando
Gpt E	Grupamento de Engenharia
HD	<i>High Definition</i>
HF	<i>High Frequency</i> (Alta Frequência)
Mec	Mecanizada(o)
Mtz	Motorizada(o)
NA	Nó de Acesso
Nd	Nodal
O Com Elt	Oficial de Comunicações e Eletrônica
OEE	Objetivo Estratégico do Exército
O Op	Ordem de Operações
PC	Posto de Comando
PCP	Posto de Comando Principal
PCT	Posto de Comando Tático
PMS	Problema Militar Simulado
PNBL	Plano Nacional de Banda Larga
PPCOT	Processo de Planejamento e Condução das Operações Terrestres
QC	Quadro de Cargos
QDM	Quadro de Dotação de Material
QSMC	Quadro do Sistema Multicanal
ROD	Rede Operacional de Defesa
Rpt	Repetidor(a)
SABRE	Sistema de Adestramento de Batalhões e Regimentos
SAM	Sistema de Assinante Móvel
SARP	Sistema Aéreo Remotamente Pilotado
SCA	Sistema de Comunicações de Área
SISOMT	Sistema Operacional Militar Terrestre
SISTAB	Sistema Tático de Adestramento de Brigadas
SNT	Sistema Nacional de Telecomunicações
TAM	Terminal de Assinante Móvel
TAR	Terminal de Acesso Rádio
VHF	<i>Very High Frequency</i> (Frequência Muito Alta)
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i> (Voz sobre Protocolo de Internet)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o estabelecimento de sistemática para validação do planejamento de Comunicações em um exercício de simulação construtiva no escalão divisão de exército. Para isso, buscou-se estabelecer método sistemático de avaliação dos enlaces por micro-ondas por visada direta que compõe o Sistema de Comunicações de Área da divisão de exército. Além disso, este trabalho buscou estabelecer a composição ideal da equipe da Direção do Exercício de simulação construtiva necessária para a avaliação do sistema de Comunicações planejado no contexto do exercício. A pesquisa foi realizada por meio da consulta a artigos publicados, manuais, documentos internos, relatórios e outros trabalhos acadêmicos relacionados ao assunto. A análise dos resultados obtidos demonstrou que é possível incorporar uma metodologia simples de avaliação dos sistemas de Comunicações aos exercícios de simulação construtiva no nível divisão do exército, com poucos impactos à velocidade do exercício ou à equipe necessária para sua condução.

Palavras-chave: Comando e Controle; Comunicações; Simulação Construtiva; Divisão de Exército.

ABSTRACT

This work's goal was to assess the creation of a system for validation of communication's planning in a simulated exercise at divisional level. For that, this work aimed to establish a systematic method of assessment of the microwave links that make the Area Communications System of the division. Moreover, this work worked to establish the ideal composition of the simulated exercise's direction team, needed for the assessment of the communication system planned in the exercise's context. The research was carried out by consulting published articles, manuals, internal documents, reports, in addition to other academic works related to the subject. The analysis of the results obtained showed that it is possible to incorporate a simple methodology of assessment of the communication systems in the simulated exercises at divisional level, with few impacts on exercise speed or the necessary team for exercise conduction.

Key words: Command and Control; Communications; Constructive Simulation; Division.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	METODOLOGIA	15
3	REVISÃO DOUTRINÁRIA	17
3.1	SIMULAÇÃO CONSTRUTIVA NO EXÉRCITO BRASILEIRO	17
3.2	DIVISÃO DE EXÉRCITO E SUAS COMUNICAÇÕES	20
3.3	SISTEMA DE COMUNICAÇÕES DE ÁREA	23
4	CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DOS ENLACES DE MICRO-ONDAS.....	25
4.1	CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE ENLACE.....	26
4.2	ASPECTOS DOUTRINÁRIOS.....	29
4.3	NECESSIDADES DOS ELEMENTOS APOIADOS.....	34
5	AVALIAÇÃO DOS ENLACES DE MICRO-ONDAS	39
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A AVALIAÇÃO.....	39
5.2	DETALHAMENTO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	40
5.3	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO.....	43
5.4	AVALIAÇÃO DOS ENLACES.....	48
6	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

Exercícios de simulação construtiva, também conhecidos como “jogos de guerra”, são exercícios táticos que se utilizam de meios computacionais para simular operações de combate, dando um grau de realidade à exercícios de posto de comando (BRASIL, 2017).

A guerra é uma atividade extremamente dispendiosa e caótica, exigindo recursos sempre acima daqueles alocados e com resultados imprevisíveis. Por esse motivo, é natural que a história dos “jogos de guerra”, como forma de simular os combates e campanhas sem incorrer nos custos e imponderáveis da atividade real, seja tão antiga quanto a história dos conflitos armados.

Greenberg (1981) considera um jogo chinês de cerca de 5.000 anos atrás conhecido como *Wei Hai* como o primeiro “jogo de guerra”, no sentido em que tratava de conceitos militares, ainda que abstratos, enquanto dois jogadores manipulavam seus exércitos simbolizados por peças coloridas.

De acordo com Perla (2012), o primeiro jogo de caráter essencialmente militar foi criado em 1870 pelo alemão C. L. Helwig. Em seu jogo, Helwig utilizou-se de um tabuleiro dividido em 1.666 espaços, simulando montanhas, rios, florestas, áreas construídas e espaços abertos, e peças simbolizando batalhões de infantaria, esquadrões de cavalaria, baterias de artilharia e até mesmo pontoneiros, além de fortificações. O jogo, cuja utilização logo se espalhou pela Europa, era visto como uma forma de “prover uma educação básica e indolor à terminologia e aos princípios da guerra como eram ensinados à época” (PERLA, 2012).

Em 1811, o Barão Leopold von Reisswitz da Prússia criou um jogo que rompia com “as convenções do tabuleiro e dos movimentos alternados do xadrez” (CAFFREY JR., 2019). Em 1824, seu filho, Georg von Reisswitz, aperfeiçoou o jogo, permitindo que o custoso cenário tridimensional fosse substituído por uma simples carta topográfica e adotando as tradicionais cores de “azul” e “vermelho” para simbolizar as tropas amigas e inimigas. Seu jogo chamou a atenção do então Chefe do Estado-Maior do Exército Prussiano, General Karl von Muffling, que ordenou que o jogo fosse utilizado em todas as guarnições militares (CAFFREY JR., 2019).

Durante as décadas seguintes, os prussianos – e após a unificação em 1871, o Exército Imperial Alemão – assumiram a vanguarda no desenvolvimento e aplicação de “jogos de guerra”, chegando a desenvolver jogos do nível tático (chamado de

Kleine Kriegsspiele) ao nível estratégico (*Strategische Kriegsspiele*) (CAFFREY JR., 2019).

O advento da computação nas décadas posteriores à Segunda Guerra Mundial viu os Estados Unidos assumirem a liderança na adoção de processos de simulação construtiva. Já nas décadas de 1950 e 1960 foram desenvolvidos os primeiros modelos de simulação, como CARMONETTE, de 1961, que:

incluía aspectos da infantaria, veículos, artilharia, fogo de morteiro e helicópteros (...). Elementos probabilísticos nessas simulações incluem o tempo para recarregar e disparar as armas, se o alvo foi observado (e assim pode ser alvejado) e a probabilidade de eliminação do alvo caso ele seja acertado (HILL e MILLER, 2017).

Uma característica comum aos jogos de guerra, desde a sua origem, é o foco nas peças de manobra e nas relações entre elas, especialmente na previsão de resultados do combate. Mesmo quando elementos de apoio foram incluídos nessa estrutura embrionária da simulação construtiva, seus efeitos normalmente eram avaliados somente na extensão em que se aplicavam aos elementos de manobra, como o impacto no poder de combate causado pela redução do suprimento disponível ou os efeitos de fortificações estabelecidas pelo que hoje se identifica como a função de combate Proteção.

No âmbito da função de Comando e Controle dentro de um jogo de guerra, nota-se uma ênfase no funcionamento do Estado-Maior, na operação do posto de comando e na gestão das informações. Entretanto, o foco do jogo de guerra nessas atividades e tarefas da função de combate Comando e Controle reduz o papel das comunicações nesse tipo de exercício. Após realizar a montagem das ligações em apoio ao exercício, a organização militar de comunicações do escalão que participa do jogo de guerra fica relegada à solução de problemas militares simulados (PMS), uma vez que a própria natureza do exercício pressupõe que o planejamento de Comunicações e sua execução foram feitas de maneira perfeita, permitindo a plena execução do comando e do controle no contexto da situação tática.

Esse não é um problema novo em jogos de guerra. Já na década de 1980, uma das críticas ao *Naval Warfare Gaming System*, sistema adotado pela *Naval War College* da Marinha dos Estados Unidos era que “as Comunicações eram boas demais, não havendo a previsão de interferência pelo inimigo. Outros tipos de interferência eram lidados de forma muito simplista” (PERLA, 2012).

A sistemática atual de condução dos exercícios de simulação construtiva limita a participação das comunicações ao estabelecimento dos sistemas em apoio à estrutura do exercício e à solução de problemas militares simulados (PMS) relativos a essa função de combate.

Este trabalho buscou responder à seguinte questão: é possível estabelecer uma solução ao problema da falta de contextualização e validação dos sistemas de comunicações estabelecidos nesse tipo de exercício, empregando metodologia simples e modular que estimule sua ampla utilização com mínimo de ônus em pessoal? O objetivo deste trabalho, portanto, é avaliar o estabelecimento de sistemática para validação do planejamento de Comunicações em um exercício de simulação construtiva no escalão divisão de exército.

Para a consecução desse objetivo, faz-se necessário o estabelecimento dos seguintes objetivos intermediários:

a. Realizar a revisão doutrinária a respeito do emprego da simulação construtiva, da organização do jogo de guerra, do escalão divisão de exército e do sistema de comunicações de área desdobrado em apoio à DE; e

b. Estabelecer parâmetros e metodologia simples para validação da eficácia e eficiência dos sistemas de Comunicações baseados em enlaces terrestres de micro-ondas no nível Divisão do Exército; e

Este trabalho se limitou à avaliação dos sistemas de comunicações estabelecidos em proveito da divisão de exército. Essa delimitação se faz necessária devido às limitações de espaço e tempo e pelo fato da divisão de exército apresentar sistema de comunicações amplo e complexo o suficiente para avaliação.

Ao mesmo tempo, este trabalho avaliou somente os meios de enlace terrestre por micro-ondas, estabelecidos para a formação do Sistema de Comunicações de Área (SCA). Essa delimitação se fez necessária devido às já citadas limitações de espaço e tempo e ao fato do Sistema de Comunicações de Área (SCA), formado principalmente por enlaces desse tipo, constituir-se no principal sistema de comunicações no nível da divisão de exército.

Este estudo buscou contribuir para o aprimoramento da sistemática de aplicação dos exercícios de simulação construtiva no Exército e para o aperfeiçoamento do planejamento de comando e controle no nível divisão de exército.

Este trabalho visou contribuir para o estabelecimento de uma abordagem simples de avaliação do planejamento das comunicações em um exercício de

simulação construtiva. A aplicação da metodologia de avaliação do planejamento das comunicações permitirá, inclusive, a adoção de consequências para a manutenção da consciência situacional do escalão que participa do jogo de guerra, sem impedir a sua continuação, valorizando assim o trabalho da organização militar de comunicações na função de combate Comando e Controle.

A participação efetiva das comunicações no contexto da situação tática abordada no exercício de simulação construtiva permitiu que as expectativas estabelecidas pelos comandantes e seus estados-maiores sobre as capacidades atuais dos seus sistemas de comunicações estejam alinhadas com a realidade, além de destacar o impacto das limitações das comunicações – quer seja pela falta de meios adequados ou pelo planejamento ineficaz do seu emprego – na construção da consciência situacional.

Ao contribuir para o aprimoramento do emprego da ferramenta da simulação construtiva no adestramento da Força Terrestre, este trabalho alinha-se com o Objetivo Estratégico do Exército nº 5 – Modernizar o Sistema Operacional Militar Terrestre (SISOMT) – Preparo e Emprego da Força Terrestre, contido no Plano Estratégico do Exército (2019).

2. METODOLOGIA

Essa pesquisa realizou uma abordagem qualitativa através da aplicação de processo derivado da abordagem desenvolvida por Santos (2018) aplicada a divisões de exército desdobradas em situações táticas sobre a carta.

Quanto à natureza da pesquisa, esta foi do tipo aplicada, pois serviu de subsídio para pesquisas futuras no que diz respeito à avaliação das Comunicações em exercícios de simulação construtiva.

Por fim, quanto aos procedimentos de pesquisa, o trabalho foi realizado de forma comparativa, buscando estabelecer a diferença entre a avaliação de um exercício de simulação construtiva em que os aspectos de comunicações foram ignorados e aquele em que os aspectos de comunicações – notadamente os enlaces de micro-ondas componentes do Sistema de Comunicações de Área – foram avaliados; e de forma tipológica, uma vez que os aspectos de comunicações avaliados foram usados na criação de um modelo de avaliação que possa ser empregado de forma simples em outros exercícios de simulação construtiva.

Esta pesquisa realizou o levantamento de dados de forma indireta por meio de pesquisa bibliográfica de literatura (livros, trabalhos acadêmicos, jornais, revistas e redes eletrônicas), além de documentos internos produzidos pelo Exército Brasileiro; e de forma direta através da observação de temas táticos no nível divisão de exército aplicados na Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais e na Escola de Comando e Estado-Maior do Exército. As consultas foram baseadas nas principais fontes de pesquisa de trabalhos acadêmicos, como as plataformas digitais do Google Acadêmico, Scielo Biblioteca Digital do Exército e EB Revistas.

O objetivo da pesquisa foi fornecer o subsídio necessário para a adaptação da metodologia adotada por Santos (2018) na avaliação dos sistemas de comando e controle no nível da brigada à divisão de exército, e à adaptação necessária ao efetivo da Célula de Comando e Controle da Direção do Exercício para a condução dessa metodologia. As bases teóricas da metodologia de avaliação dos sistemas de enlace de micro-ondas formaram o Capítulo 4 deste trabalho.

O tratamento dos dados foi feito por meio da aplicação da metodologia de avaliação ao sistema de comando e controle planejado pela organização militar de comunicações no contexto da situação tática do exercício de simulação construtiva da divisão de exército.

O objetivo do tratamento de dados foi permitir a validação da metodologia de avaliação dos enlaces de micro-ondas. A aplicação da metodologia proposta ao planejamento de comunicações, juntamente com uma discussão sobre seus resultados, está contida no Capítulo 5. A conclusão deste trabalho fez parte do Capítulo 6.

O método aplicado de avaliação dos enlaces de micro-ondas no âmbito do sistema de comando e controle de uma divisão de exército abrange apenas um dos meios de comunicações utilizados nesse sistema. Divisões de exército que, por sua natureza, não tenham seus sistemas de comando e controle apoiados sobre sistemas de enlace de micro-ondas e o Sistema de Comunicações de Área, por esse motivo, não foram abordadas neste trabalho.

A metodologia de avaliação proposta considerou que as limitações ao planejamento do sistema de comando e controle da divisão de exército derivam somente da situação tática do exercício, da disponibilidade de meios estabelecida pela DIREx e pelas restrições impostas pelo terreno. O importante fator de restrição à liberdade do planejamento do sistema imposto pela atuação da guerra eletrônica do inimigo não foi parte da metodologia de avaliação.

3. REVISÃO DOUTRINÁRIA

3.1. SIMULAÇÃO CONSTRUTIVA NO EXÉRCITO BRASILEIRO

No Exército Brasileiro, a simulação construtiva só começou a ser estudada de forma sistêmica e aprofundada a partir de 1970, na Escola de Comando e Estado-Maior do Exército. Em 1991 foi realizado o exercício de simulação construtiva AZUVER, com a participação do Exército Brasileiro e da Força Aérea Brasileira (MENEGAZ, 2020).

O primeiro sistema computadorizado de simulação construtiva no âmbito do Exército, o JG ECEME, foi criado na Escola de Comando e Estado-Maior do Exército em 1991. As suas diversas limitações, entre as quais se destaca o fato de não permitir que os dois “lados” sejam representados por jogadores humanos, levaram à sua substituição em 1993 pelo VERAMA, utilizado no nível divisão de exército. Um outro jogo de guerra foi criado, nesse mesmo ano, para atender ao nível brigada, e serviu de embrião para o sistema JG 2000 (CUNHA, 2011).

Em 2004, o Exército Brasileiro adotou o Sistema Tático de Adestramento de Brigadas (SISTAB), empregando cartas vetorizadas na simulação construtiva no escalão brigada e, devidamente adaptado, ao nível divisão de exército (MENEGAZ, 2020). Esse sistema coexistiu, a partir de 2005, com o Sistema de Adestramento de Batalhões e Regimentos (SABRE), adotado como forma de suprir a demanda pela simulação construtiva no nível unidade (CUNHA, 2011).

Em 2014, o Exército Brasileiro adquiriu o Sistema COMBATER, produzido pela empresa francesa MASA, adaptado à doutrina brasileira e utilizado em substituição ao SISTAB e ao SABRE (MENEGAZ, 2020). Esse sistema, em uso atualmente, permite a condução de exercícios de simulação construtiva no nível divisão de exército, brigada e regimento, além de permitir a sua integração a outros sistemas de simulação e aos sistemas de apoio à decisão (SAD) adotados pelo Exército Brasileiro (CUNHA, 2011).

A sistemática atual de condução dos jogos de guerra está amparada no Caderno de Instrução EB70-CI-11-410 Exercícios de Simulação Construtiva (BRASIL, 2017), que determina a estrutura necessária, as fases e os objetivos a serem atingidos na condução de um exercício desse tipo. Esse caderno de instrução constitui-se, portanto, na base do referencial teórico para a determinação das responsabilidades e

necessidades para efetiva avaliação dos sistemas de comunicações estabelecidos em apoio à divisão de exército.

Ao estruturar o jogo de guerra como um exercício de posto de comando, o Caderno de Instrução contribui para o fomento da Função de Combate Comando e Controle, que é definida pelo Manual de Campanha Comando e Controle como “o exercício da autoridade e da direção que um comandante tem sobre o próprio comando, para o cumprimento da missão designada” (BRASIL, 2015). A atuação do comando e controle fica materializada, assim, através do trabalho de estado-maior e da execução do Processo de Planejamento e Condução das Operações Terrestres (PPCOT).

O Caderno de Instrução Exercícios de Simulação Construtiva define um jogo de guerra como

um exercício tático realizado no contexto de um exercício de posto de comando, no qual são empregados meios computacionais para a apresentação digital do cenário e para a simulação de operações continuadas de combate, apoio ao combate e logística (BRASIL, 2017).

O mesmo caderno de Instrução ainda destaca a importância do realismo no resultado (BRASIL, 2017) que, somado à já citada inclusão das atividades de apoio ao combate, reforça a importância da incorporação das comunicações ao exercício de forma efetiva.

O Caderno de Instrução Exercícios de Simulação Construtiva também estabelece a estrutura necessária para a condução do jogo de guerra de maneira detalhada. Entre as diversas definições importantes para a condução deste trabalho destaca-se a composição da Direção do Exercício (DIREx). O caderno de instrução define a DIREx como “a equipe responsável pela condução tática do exercício” (BRASIL, 2017) e determina que seja composta por elementos de todas as funções de combate. A dosagem do efetivo para compor a célula de Comando e Controle na DIREx é determinada no caderno de instrução como 1 (um) capitão, no caso de um exercício de divisão de exército, ou 1 (um) tenente nos exercícios de simulação construtiva no nível brigada (BRASIL, 2017).

A Figura Nr 1 apresenta a organização de um jogo de guerra, destacando o papel central da Direção do Exercício na condução da simulação construtiva.

Figura Nr 1 - Organização de Jogo de Guerra



Fonte: BRASIL, 2017.

O Caderno de Instrução Exercícios de Simulação Construtiva estabelece as responsabilidades da organização militar de comunicações do escalão que participa do exercício de simulação construtiva, ao determinar que ela deverá “montar e operar o sistema de comunicações da Brigada, a fim de adestrar também o Sistema Comando e Controle (C2) do Grande Comando ou da Grande Unidade” (BRASIL, 2017).

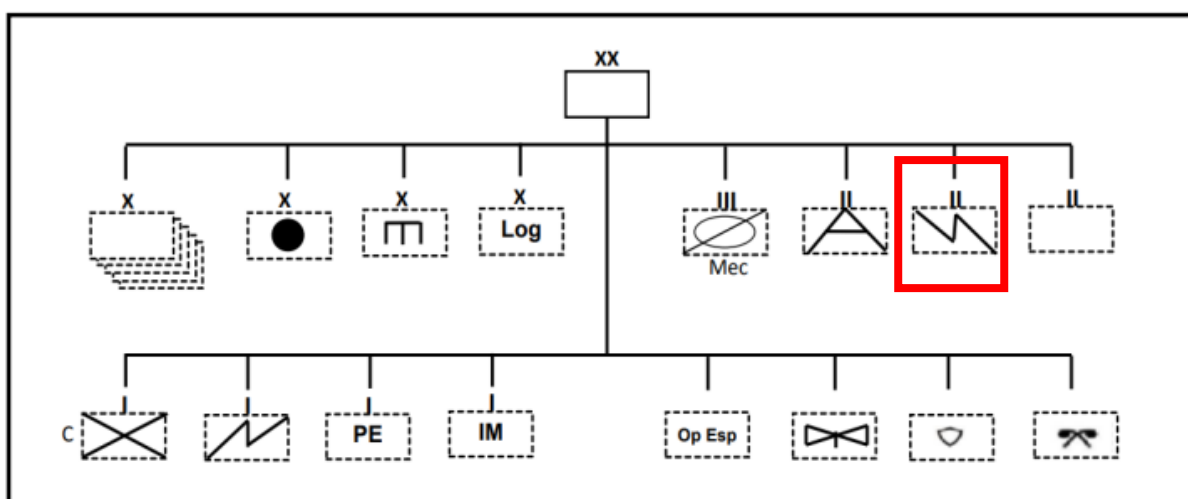
Ao focar os esforços da organização militar de comunicações no apoio de comunicações à condução do exercício, e ao tornar esse apoio a própria oportunidade de adestramento da função de combate, a doutrina referente à condução de exercícios de simulação construtiva isola as comunicações de todas as demais Armas, Quadro e Serviço que participam ativamente do cenário do jogo de guerra. Ao mesmo tempo em que impede que o planejamento de comunicações seja avaliado eficazmente, também impede que todos os demais participantes tenham uma ideia consistente com a realidade sobre os impactos desse planejamento em sua manobra ou no funcionamento de suas estruturas de comando e controle.

3.2. DIVISÃO DE EXÉRCITO E SUAS COMUNICAÇÕES

O Manual de Campanha EB70-MC-10.243 Divisão de Exército é a base do referencial doutrinário ligado à divisão de exército (DE), seus meios e suas capacidades. Esse manual define a divisão de exército como Grande Comando Operativo da Força Terrestre, “integrada por um número variável de elementos de combate, de apoio ao combate e de apoio logístico, requeridos para o cumprimento de suas missões” (BRASIL, 2020c).

O mesmo manual reforça a ideia da modularidade da divisão de exército, ao determinar que “a DE não possui uma organização fixa e rígida, devendo ser estruturada para atender às demandas do planejamento operacional ao qual estiver subordinada”. A Figura Nr 2 dá um exemplo da composição modular de uma divisão de exército. Nessa figura, pode-se observar a existência de um batalhão de comunicações como seu elemento responsável pelas comunicações naquele escalão, obedecendo às prescrições contidas no manual, que determina que “o Batalhão de Comunicações (B Com) é o responsável por instalar, explorar, manter e proteger o sistema de comunicações em apoio a um Grande Comando Operativo”. (BRASIL, 2020c)

Figura Nr 2 – Organização de uma DE, com seu batalhão de comunicações destacado



Fonte: BRASIL, 2020c.

O referencial doutrinário de comunicações do Exército Brasileiro encontra-se em momento de transição. Novos manuais produzidos a partir da segunda metade da década de 2010 tem substituído aqueles produzidos na década de 1990. Ao mesmo

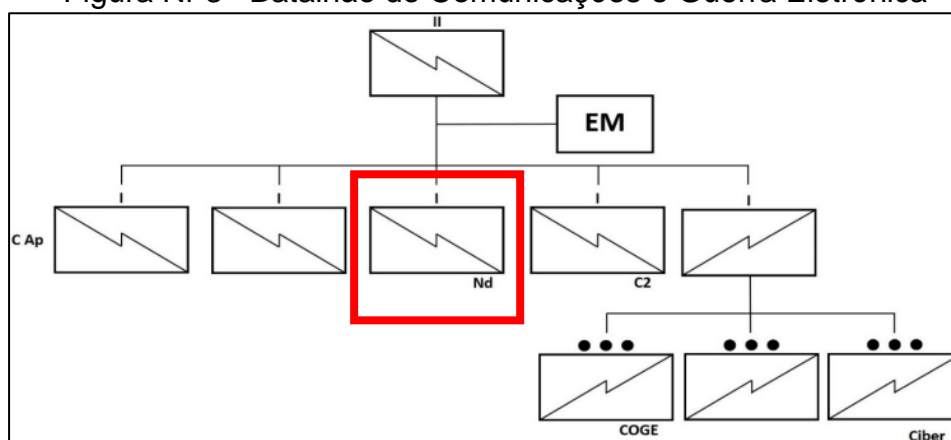
tempo em que oferecem a oportunidade da atualização da doutrina das Comunicações ao rápido avanço tecnológico experimentado nessa área, esses novos manuais reforçam a necessidade de contínua avaliação dos preceitos doutrinários voltados ao estabelecimento dos sistemas de comunicações.

Um dos pontos de mudança recente na doutrina está a mudança do elemento responsável pelas comunicações da divisão de exército de um batalhão de comunicações para um batalhão de comunicações e guerra eletrônica. Essa mudança, embora ainda não esteja amparada em manual de campanha, foi incluída a título provisório na Nota Doutrinária nº 04/2021, aprovada pelo Comandante de Operações Terrestres, que estabelece que:

O batalhão de comunicações e guerra eletrônica é a unidade de comunicações responsável por instalar, explorar, manter e proteger os sistemas de comunicações, de guerra eletrônica e de tecnologia da informação em apoio ao preparo e emprego operativo do G Cmo enquadrante. (...) O B Com GE é um elemento de apoio de Com e GE podendo ser orgânico de uma divisão de exército (DE) ou de um GCE quando um corpo de exército for ativado. Em tempo de paz, o B Com GE estará subordinado a um comando militar de área ou uma Divisão de Exército. As unidades que não possuírem a Cia GE ativada manterão a designação de batalhão de comunicações (B Com) (BRASIL 2021).

A mesma Nota Doutrinária nº 04/2021 estabelece a composição desse batalhão de comunicações e guerra eletrônica, incluindo nele 1 (uma) companhia de comunicações nodal (BRASIL, 2021). A Figura Nr 3 demonstra a estrutura do batalhão de comunicações e guerra eletrônica, com a sua companhia nodal destacada.

Figura Nr 3 –Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica



Fonte: BRASIL, 2021.

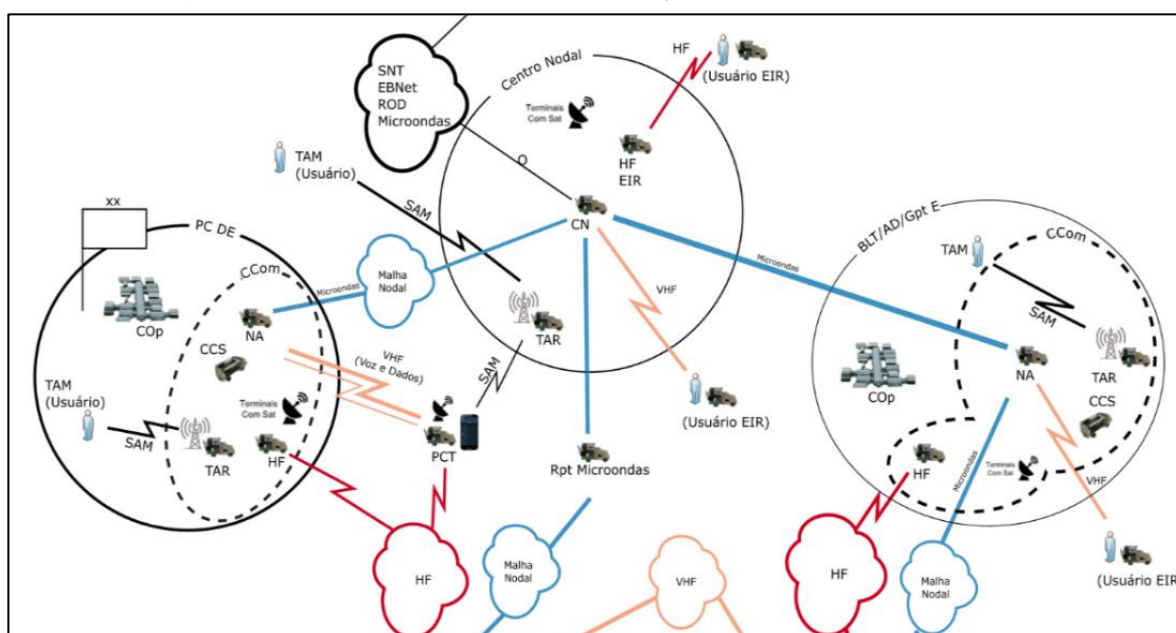
A companhia de comunicações nodal do batalhão de comunicações e guerra eletrônica é responsável pelo estabelecimento do sistema de comunicações de área

e pela estruturação de uma malha de comunicações, que desdobra no terreno determinado número de centros nodais e nós de acesso, dotados de grande funcionalidade de comutação para assegurar a confiabilidade das comunicações. (BRASIL, 2018).

Os centros nodais e nós de acesso, componentes fundamentais da malha nodal, são, respectivamente, “nós troncais do Sistema de Comunicações de Área, dotados com a funcionalidade de transmissão de dados e voz, por meio de enlaces de alta velocidade em micro-ondas e equipamentos multibanda” (BRASIL, 2018) e “nós que permitem a integração dos sistemas de comunicações de área e de comando” (BRASIL, 2018).

O sistema de comunicações de área consiste no meio prioritário para o sistema de comando e controle da divisão de exército e sua integração com o escalão superior (BRASIL, 2021). A Figura Nr 4 apresenta a esquematização de um sistema de comando e controle parcial de uma divisão de exército. Nessa figura, os enlaces de micro-ondas do sistema de comunicações de área são apresentados como linhas azuis. Os enlaces que se estendem para além do limite superior da figura são aqueles estabelecidos com o escalão superior, e os enlaces que se estendem para além do limite inferior da figura são aqueles estabelecidos com escalões subordinados.

Figura Nr 4 – Sistema de Comunicações de Área parcial de uma DE



Fonte: BRASIL, 2021.

3.3 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÕES DE ÁREA

O referencial teórico referente à avaliação de sistemas de comunicações em um contexto de exercício de simulação construtiva pode ser dividido em duas vertentes.

A primeira vertente, exemplificada por Cayciri e Ersoy (2002), foca-se na disponibilidade dos sistemas de comunicações estabelecidos, utilizando-se de complexas fórmulas matemáticas para relacionar a banda disponível de comunicações com o volume de tráfego esperado em diversos meios de comunicações, como rádios operando em alta frequência (HF) e frequência muito alta (VHF).

À título de exemplo, a Tabela Nr 1 apresenta o número de mensagens enviadas por elementos valor unidade em combate, discriminados por natureza, quando em contato com inimigo ou não, usada como base no estabelecimento dos algoritmos usados nos cálculos de disponibilidade de banda.

Tabela Nr 1 – Número de mensagens emitidas por Unidades durante ataque em uma hora

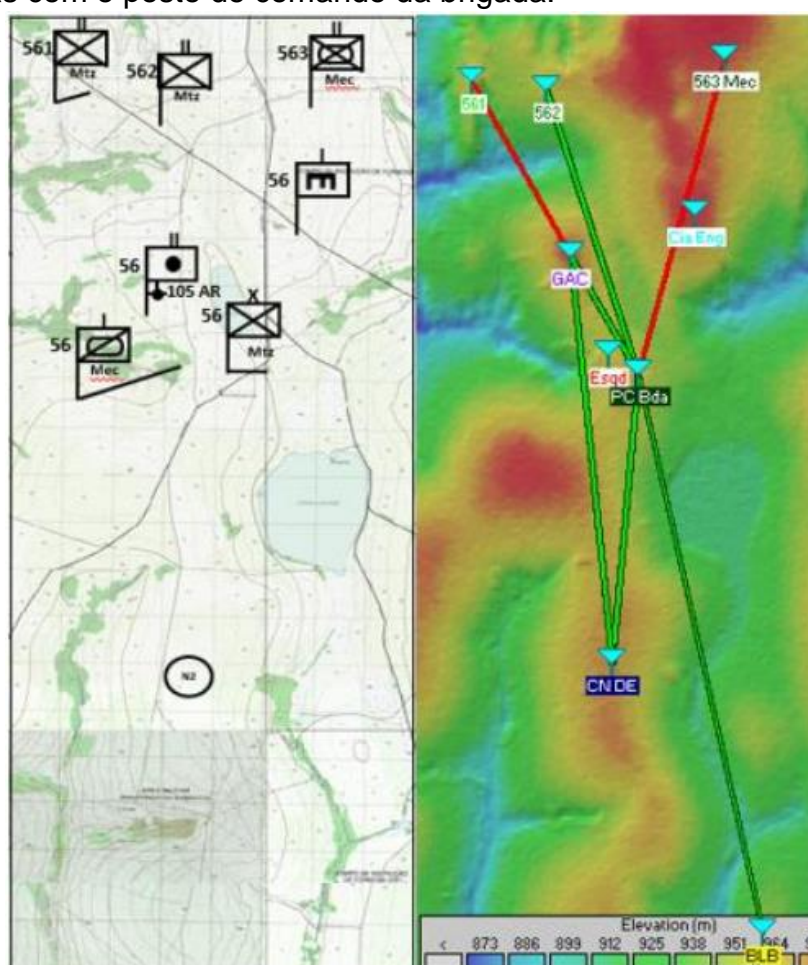
Em contato?	Sim			Não		
	Natureza	Mín	Média	Máx	Mín	Média
Infantaria	10	17	31	6	9	17
Cavalaria	19	21	30	7	12	17
Artilharia	12	18	27	5	8	12

Fonte: CAYCIRI e ERSOY, 2002.

Essa abordagem apresenta como limitação a elevada complexidade dos cálculos necessários para apresentar a disponibilidade dos sistemas de comunicações em um determinado momento. Ao mesmo tempo, conforme os próprios autores relatam, não apresenta a resolução necessária para ser aplicada com consistência a simulações de comunicações táticas em escalões inferiores ao Teatro de Operações (CAYCIRI e ERSOY, 2002). Devido a essas limitações, essa abordagem, que podemos chamar de estatística, é melhor utilizada quando incorporada de forma automática ao sistema de simulação utilizado no jogo de guerra, que foge aos limites deste trabalho.

A segunda abordagem, adotada por Santos (2018), foca-se na avaliação de enlaces de micro-ondas por visada direta, utilizando-se de *software* simples para comparação do enlace planejado com o terreno. Essa abordagem tem a vantagem de ser simples, de fácil aplicação e modular. Sua utilização ignora, para fins de praticidade e simplicidade, a banda disponível nos enlaces de micro-ondas, preocupando-se apenas com a possibilidade física do seu estabelecimento, levando em consideração as leis da física e as capacidades dos equipamentos empregados. A Figura Nr 5 apresenta a comparação entre as posições dos postos de comando de uma brigada de infantaria com os enlaces de micro-ondas estabelecidos. Na figura, os enlaces em verde são aqueles em plenas condições de funcionamento, enquanto os enlaces em vermelho são aqueles que, devido a restrições do terreno, não poderiam ser estabelecidos e, na ausência de outros meios de comunicações, isolariam aquela organização militar do sistema de comando e controle da brigada.

Figura Nr 5 – Postos de comando de organizações militares de brigada e seus enlaces de micro-ondas com o posto de comando da brigada.



Fonte: SANTOS, 2018.

4. CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DOS ENLACES DE MICRO-ONDAS

O Manual de Campanha EB70-MC-10.241 As Comunicações na Força Terrestre, estabelece que “cada escalão e elemento da F Ter têm por missão o planejamento, a instalação, a exploração, a manutenção e a proteção do respectivo apoio de comunicações, seguindo as normas estabelecidas pelo escalão superior.” (BRASIL, 2018). Para isso, cada escalão e elemento

emprega meios de comunicações que, utilizando-se de pessoal, tecnologias e procedimentos, proporcionam a transmissão e recepção de informações entre dois ou mais elementos, de forma segura e confiável (BRASIL, 2018).

Essa consideração é reforçada na Nota Doutrinária nº 04/2021 do Comando de Operações Terrestres, que estabelece que a “atividade de C² exige conhecimento das concepções de emprego dos meios materiais, do pessoal e dos processos utilizados para sobrepujar o oponente” (BRASIL, 2021).

Da análise desse trecho do manual de campanha citado, pode-se inferir que o desempenho de um sistema de comunicações depende de recursos humanos (o “pessoal”), das características técnicas dos equipamentos que compõe o sistema (“tecnologias” ou “material”) e de aspectos doutrinários ligados ao planejamento e desdobramento desse sistema (“procedimentos” ou “processos”).

Uma vez que os exercícios de simulação construtiva consideram que todos os elementos simulados estão plenamente adestrados no emprego dos meios de emprego militar orgânicos, o fator “pessoal” pode ser desconsiderado no estabelecimento de procedimentos de avaliação dos sistemas de enlace por micro-ondas planejados no exercício.

Por exclusão, portanto, o foco da avaliação dos sistemas de enlace por micro-ondas, ao avaliar o desempenho do sistema no contexto da situação tática do exercício, será dependente da interação das características técnicas dos equipamentos (“material”) e do planejamento executado pelo Comandante e Estado-Maior da OM de Comunicações no exercício com a própria situação (“procedimentos”).

Os aspectos relevantes das considerações técnicas e da doutrina ligada ao planejamento e estabelecimento dos enlaces serão abordados a seguir.

4.1. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE ENLACE

4.1.1 Características gerais

Os enlaces de visada direta por micro-ondas formam o principal componente do Sistema de Comunicações de Área (SCA), e são usados no estabelecimento das ligações entre os centros nodais (CN) da própria divisão de exército e dos postos de comando das Grandes Unidades subordinadas (BRASIL, 1995a).

É importante notar, neste ponto, a diferença entre os sistemas de enlace de visada direta por micro-ondas e os demais sistemas rádio empregados no Sistema de Comunicações de Área de uma divisão de exército. Essa distinção é necessária uma vez que, apesar dos dois sistemas fazerem uso da emissão de ondas eletromagnéticas para transmissão de informações, a forma de emprego dessa emissão é bastante diferente.

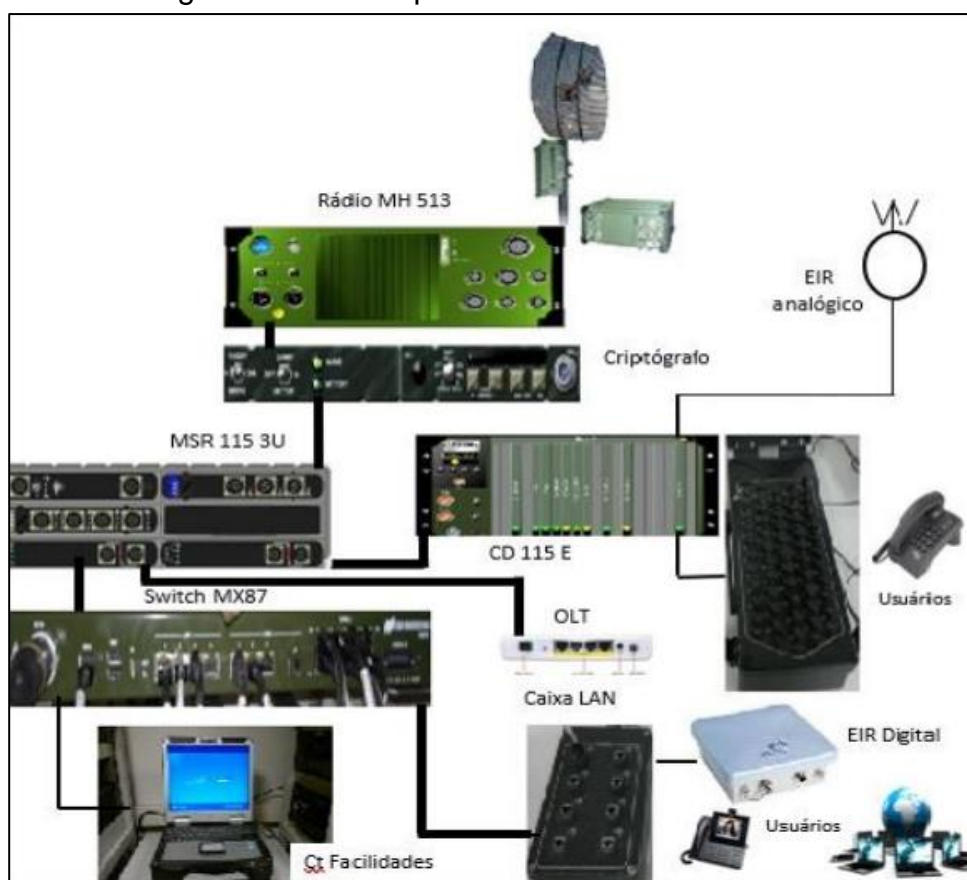
Os sistemas de enlace de visada direta por micro-ondas utilizam-se de equipamentos com grande número de canais multiplexados, direcionalidade e baixa potência de transmissão (BRASIL, 1995a), enquanto outros meios rádio que compõem o SCA, como as ligações de apoio estabelecidas pelo sistema do assinante móvel (SAM) por meio dos equipamentos de interface de rede (EIR) e terminais de acesso remoto, possuem características técnicas mais próximas ao emprego do meio rádio empregado nas redes-rádio em todos os escalões.

Embora o funcionamento dos enlaces de visada direta por micro-ondas dependam de equipamentos denominados “rádios”, seu funcionamento é bastante diferente da concepção generalizada de equipamentos rádio dos grupos tradicionais empregados desde o nível esquadra no âmbito da Força Terrestre.

Um centro nodal (CN) é um órgão leve, veicular, composto por subsistemas de alimentação e comunicações. O subsistema de comunicações é formado pelo próprio equipamento multicanal e por meios de criptografia, roteamento e controle (BRASIL, 2020a).

A Figura Nr 6 apresenta, de forma esquematizada, a estrutura dos subsistemas de um centro nodal, incluindo seus principais equipamentos.

Figura Nr 6 – Componentes de um centro nodal.



Fonte: BRASIL, 2020a.

4.1.2 Características técnicas

As características técnicas detalhadas da maior parte dos equipamentos que compõe os subsistemas de um centro nodal estão além do escopo deste trabalho. Para fins deste estudo, assume-se que, da mesma forma que um centro nodal desdobrado em um exercício de simulação construtiva contará com uma guarnição completa e adestrada, todos os equipamentos estarão perfeitamente configurados e, salvo intervenções da Direção do Exercício, estarão em plenas condições de funcionamento.

Apesar dessas considerações, algumas características técnicas do conjunto-rádio¹ responsável pela produção e transmissão do enlace de micro-ondas são fundamentais para a avaliação do sistema. Isso é devido à elevada dependência dos enlaces de micro-ondas do estabelecimento de visada direta entre as antenas transmissora e receptora. Características técnicas desse conjunto rádio, tais como

¹ Considera-se como componentes de um conjunto-rádio seu transceptor, sua fonte de alimentação e sua antena, seguindo a definição estabelecida no antigo Manual de Campanha C 11-1 Emprego das Comunicações, de 1997.

potência, faixa de frequência e ganho de antena, e até mesmo características físicas não necessariamente ligadas ao funcionamento do conjunto-rádio, como altura máxima dos mastros das antenas, impactam diretamente a capacidade do centro nodal em estabelecer enlaces de visada direta.

A modularidade dos centros nodais permite a constante modernização dos equipamentos que o compõem. A constante evolução tecnológica que afeta equipamentos de comunicações consegue agregar grandes capacidades ao sistema, ao mesmo tempo em que dificulta o estabelecimento de características técnicas definitivas para os enlaces de micro-ondas.

Para este trabalho, adotou-se as características técnicas descritas para o rádio digital multiplexado MH513, descrito no Manual de Ensino EB60-ME-12.302 Planejamento de Comunicações e Guerra Eletrônica e adotado como padrão nos planejamentos escolares no âmbito do Exército. As características relevantes são:

- a. Faixa de frequência de 2,48 a 2,69 GHz, com espaçamento de 5 MHz;
- b. Potência de transmissão: 1,58W;
- c. Características das antenas:
 - ganho de 24dBi no lóbulo primário;
 - ângulos de meia potência iguais a 20°;
 - ângulo de primeiro-nulo igual a 45°; e
 - mastros telescópicos pneumáticos com altura máxima de 12 (doze) metros.

(BRASIL, 2020a)

d. Taxas de transmissão de acordo com a Figura Nr 7, levando em consideração ruído branco gaussiano aditivo (*Additive White Gaussian Noise*, AWGN).

Figura Nr 7 – Taxas de transmissão do conjunto-rádio MH513

Taxa de Transmissão	34 Mbps	8 Mbps	2 Mbps
Ambiente			
Ruído rural	16 km	38 km	50 km
Ruído urbano/industrial	13 km	32 km	50 km

Fonte: BRASIL, 2020a.

A quantidade de enlaces a serem estabelecidos por um centro nodal é dependente da quantidade de conjuntos-rádio MH513 que ele possui. Sobre essa

quantidade, o Manual de Campanha 10-61 Comunicações na Divisão de Exército estabelece que um centro nodal deve estabelecer até 8 (oito) enlaces (BRASIL, 1995a). Já o Manual de Ensino EB60-ME-12.302 Planejamento de Comunicações e Guerra Eletrônica, já descrito anteriormente, é mais detalhado, estabelecendo os seguintes padrões para centros nodais (CN), nós de acesso (NA) e repetidoras (Rpt):

Figura Nr 8 – Quantidade de rádios MH513 por órgão do SCA

Órgão	Equipamento	Qnt por órgão
CN	Rádio MH513	8
NA	Rádio MH513	2
Rpt	Rádio MH513	2

Fonte: BRASIL, 2020a.

4.1.3. Relevância das características técnicas para a avaliação

Conforme notado anteriormente, admite-se certa abstração na transposição das características técnicas dos equipamentos envolvidos com o estabelecimento do SCA para o exercício de simulação construtiva, uma vez que o principal objetivo do exercício não é a da verificação da possibilidade técnica do estabelecimento de determinado enlace. No entanto, é necessário que a avaliação dos enlaces de micro-ondas estabelecidos seja baseada, de forma aproximada, nas capacidades reais dos equipamentos existentes ou, pelo menos, padronizados na documentação em vigor para aquele exercício.

De forma similar, a incorporação dessas características técnicas também permite que todos os envolvidos no exercício de simulação construtiva tenham conhecimento do impacto de certas limitações técnicas inerentes aos equipamentos ou impostas pela situação tática ou o terreno tem sobre esses enlaces.

Em alinhamento com esses preceitos, somente aquelas características técnicas consideradas relevantes foram destacadas neste trabalho. Essas características serão usadas na avaliação dos enlaces planejados, utilizando ferramentas que serão discutidas mais adiante neste capítulo.

4.2 ASPECTOS DOUTRINÁRIOS

A fim de estabelecer os aspectos doutrinários relevantes para a avaliação dos enlaces de micro-ondas do SCA, buscou-se dividi-los em dois grupos: aqueles ligados

ao planejamento do Sistema de Comunicações de Área, e aqueles ligados à dotação dos elementos envolvidos com o estabelecimento do sistema.

4.2.1. Planejamento dos enlaces

O Manual de Campanha EB70-MC-10.243 Divisão de Exército estabelece que “o Batalhão de Comunicações (B Com) é o responsável por instalar, explorar, manter e proteger o sistema de comunicações em apoio a um Grande Comando Operativo” (BRASIL, 2020c). Ao mesmo tempo, cita dois responsáveis pelas Comunicações no âmbito da Divisão de Exército:

O planejamento e a coordenação das Comunicações deste Grande Comando Operativo são de responsabilidade da Seção de Comunicações (Seç Com), Guerra Eletrônica (GE) e Ciber. O Oficial de Comunicações e Eletrônica (O Com Elt) integra o EM da Divisão, participando de todo o planejamento de EM. Cabe ao Chefe da Seç com, GE e Ciber planejar, coordenar e supervisionar o emprego das comunicações, GE e Ciber da Divisão (BRASIL, 2020c).

Uma leitura desse parágrafo gera dúvida sobre o papel do Oficial de Comunicações e Eletrônica (O Com Elt) e no que ele se diferencia do papel exercido pelo chefe da Seção de Comunicações e Guerra Eletrônica do Estado-Maior da Divisão de Exército.

Essa questão é solucionada pela Nota Doutrinária Nr 04/21 do Comando de Operações Terrestres, que determina que

a seção de comando e controle e GE do EM G Cmdo/GU, chefiada pelo E6, é dividida em subseção de comunicações e subseção de guerra eletrônica, cabendo a ele exercer, também, a função de oficial de comunicações e guerra eletrônica do escalão considerado (BRASIL, 2021).

E ainda, que “quando não houver no EM elemento designado para a função de E6, essa poderá ser exercida pelo Cmt OM [*de comunicações*] do escalão considerado” (BRASIL, 2021).

A discussão doutrinária sobre a real capacidade do E6, quando distinto do Comandante do Batalhão de Comunicações da DE, de planejar e coordenar as Comunicações daquele escalão, quando ele não detém os meios e o pessoal a serem empregados, está além do escopo deste trabalho. O fato relevante para os objetivos deste trabalho é que a Nota Doutrinária abre a possibilidade para que o Comandante do B Com, auxiliado pelo seu Estado-Maior, possa planejar os sistemas de

Comunicações da DE, incluindo os enlaces de micro-ondas em visada direta que serão avaliados neste trabalho.

Independentemente de quem exerça a função de Oficial de Comunicações e Guerra Eletrônica da DE, a Nota Doutrinária Nr 04/21 estabelece as suas atribuições, das quais destacam-se as seguintes:

- b. coordenar a integração das redes que interligam o CC² do escalão considerado com os CC² dos elementos subordinados;
- c. planejar os sistemas de C² e GE, em coordenação com as demais seções do EM e as OM de comunicações do escalão considerado;
- (...)
- m. confeccionar os anexos de C² de GE ao plano ou ordem de operações (BRASIL, 2021).

O Manual de Campanha C 11-61 As Comunicações na Divisão de Exército estabelece as ações a serem adotadas durante o planejamento do SCA. Entre outras ações, o referido Manual de Campanha determina:

A escolha dos locais exatos [para localização dos centros nodais] é feita, na fase de planejamento, pela Seç Com GE/DE. (...) Por ocasião do planejamento da missão, devem ser revistas todas as localizações dos CN e todos os seus enlaces. (...) Para planejar a localização dos CN, o terreno deve ser submetido a um estudo topográfico detalhado, selecionando as melhores linhas de visada (BRASIL, 1995a).

A execução do planejamento dos enlaces que compõe o SCA é manifestada em três documentos: no parágrafo 5º (Comando e Comunicações) da ordem de operações (O Op) da divisão de exército, no Diagrama do Sistema Multicanal (DSMC) e no Quadro do Sistema Multicanal (QSMC).

A localização de todos os centros nodais desdobrados é feita no parágrafo 5º da ordem de operações da DE, ou no espaço correspondente no Anexo de Comunicações à ordem de operações da divisão de exército (BRASIL, 1995b).

O planejamento dos enlaces, no entanto, é feito de maneira mais pormenorizada no DSMC e descrito no QSMC, que normalmente são anexos à ordem de operações da DE ou apêndices ao anexo de comunicações à O Op.

O QSMC tem por finalidade “definir os detalhes para estabelecimento do sistema multicanal, apresentando-os como ordem de execução aos elementos subordinados” (BRASIL, 1995b). O QSMC, elaborado pelo Chefe da Seção de Comunicações e Guerra Eletrônica da DE, inclui entre as suas informações a localização dos sítios de

antena dos centros nodais e os enlaces de rede e de junção² estabelecidos em cada centro nodal. (BRASIL, 1995b).

A Figura Nr 8 apresenta o extrato de um QSMC, descrevendo os enlaces estabelecidos por um centro nodal e suas coordenadas.

Figura Nr 8 – Extrato de QSMC

APÊNDICE 3 (QSMC) ao An I (Com) à O Op Nr 3 da 13ª DE				
Ref: Crt R SE BRASIL - Esc 1:100.000 FI VOTUPORANGA, CONCHAL				
1. LANCES-RÁDIO				
Sítio de Antenas	Coor	Seg	Az Mg	Obs
PCP/13ª DE	(37850-65900)			
CN 1/FTC	(35050-65850)	MPE	082	
CN 1/13ª DE	(38850-71200)		058	

Fonte: BRASIL, 2020a.

O DSMC é uma ferramenta gráfica estabelecida com a finalidade de “informar, de forma clara e objetiva o planejamento do SCA. Possibilita uma visão geral dos meios de comunicações desdobrados, além de todos os elementos apoiados” (BRASIL, 2020a). O DSMC é produzido na forma de um calco, contendo, entre outras informações, a localização dos nós de acesso, centros nodais e repetidoras e os enlaces de junção e de rede (BRASIL, 2020a).

A confecção do QSMC e do DSMC pelo Oficial de Comunicações e Guerra Eletrônica demonstra que cabe ao O Com Elt da divisão de exército a localização detalhada de cada centro nodal, bem como o planejamento de cada enlace a ser estabelecido entre eles. São esses dois quesitos – a localização adequada e o funcionamento pleno de cada enlace – que este trabalho se propõe a avaliar.

4.2.2. Dotação de meios

O segundo aspecto doutrinário que influencia diretamente o planejamento dos enlaces de micro-ondas em visada direta do SCA é a quantidade de meios disponíveis para o planejador.

² Enlaces de rede são aqueles estabelecidos entre dois centros nodais; enlaces de junção, por sua vez, são aqueles estabelecidos entre um centro nodal e um nó de acesso (BRASIL, 1995a).

Os meios capazes de realizar os enlaces de micro-ondas do SCA dividem-se em três órgãos diferentes: os nós de acesso (NA), os centros nodais (CN) e os repetidores (Rpt).

Os centros nodais são responsáveis pelo estabelecimento dos enlaces de rede. Os enlaces estabelecidos entre os CN formam a parte central do sistema de comunicações de área, também chamada de “malha nodal”, ao qual se ligam os demais usuários.

A Figura Nr 9 apresenta, a título ilustrativo, um centro nodal desdobrado no terreno. Observa-se na figura algumas das características importantes do centro nodal: a plataforma veicular, o mastro telescópico que facilita o estabelecimento dos enlaces por visada direta e as antenas de micro-ondas desdobradas no topo do mastro, indicando que esse centro nodal estabeleceu dois enlaces.

Figura Nr 9 – Centro Nodal



Fonte: Exército Brasileiro (disponível em <https://11nq.com/GMol3>). Extraído em 17 JUL 23.

Os nós de acesso são estruturas similares aos centros nodais, mas com a finalidade de integrar os postos de comando das GU que compõe a DE à malha nodal estabelecida pelos CN. Embora existam nós de acesso nos batalhões de comunicações da divisão de exército, há a previsão doutrinária de nós de acesso nas companhias de comunicações orgânicas das GU.

Os repetidores, por sua vez, são estruturas equipadas com 2 (dois) conjuntos-rádio tipo MH513, capazes de receber e retransmitir um sinal por meio dos enlaces e micro-ondas.

A dotação de CN, NA e Rpt é prevista nos Quadros de Dotação de Material (QDM) dos batalhões de comunicações e reflete diretamente a quantidade de Turmas de Centros Nodais e Turmas de Nós de Acesso que compõe a Companhia de Comunicações Nodal (Cia Com Nd) do batalhão de comunicações, prevista no Quadro de Cargos (QC) da Organização Militar.

Da mesma forma que, na condução dos exercícios de simulação construtiva, a construção e verificação da ordem de batalha de ambos os partidos é etapa fundamental para a realização proveitosa do exercício, duas questões devem, portanto, ser resolvidas durante a construção da ordem de batalha no que tange aos meios responsáveis pelos enlaces do SCA:

- a. a quantidade de CN, NA e Rpt existentes e à disposição na Cia Com Nd do B Com da DE; e
- b. a quantidade de NA existentes nas Cia Com orgânicas das GU das Bda que compõe a DE.

O Manual de Ensino EB60-ME-12.303 Planejamento de Comunicações e Guerra Eletrônica estabelece um padrão para a dotação das Cia Com Nd e Cia Com Bda, demonstrados na Figura Nr 10.

Figura Nr 10 – Quantidade de CN, NA e Rpt

Detentor	Órgão	Detentor	Qnt
B Com	CN	B Com	8
	NA	B Com	8
	Rpt	B Com	8
Cia Com	NA	Cia Com GU	2

Fonte: BRASIL, 2020a.

4.3 NECESSIDADES DOS ELEMENTOS APOIADOS

Até este ponto, este trabalho lidou com características inerentes ao próprio sistema de enlaces por micro-ondas em visada direta. Entretanto, um aspecto que

não pode ser desconsiderado na avaliação dos enlaces estabelecidos é se eles suprem a necessidade dos elementos apoiados.

Conforme apresentado nas características técnicas dos enlaces por micro-ondas, os enlaces estabelecidos no SCA fornecem um canal confiável para transmissão de dados para os elementos que compõe a divisão de exército. Conforme estabelecido no Manual de Ensino EB60-ME-12.303 Planejamento de Comunicações e Guerra Eletrônica, o rendimento dos enlaces diminui com a distância, o que pode reduzir a capacidade do enlace a níveis aquém daqueles necessários para o elemento apoiado.

Para este estudo, a avaliação da capacidade dos enlaces e a necessidade dos elementos apoiados restringiu-se à análise da largura de banda disponibilizada pelo sistema ao elemento, medida em megabits por segundo (Mbps).

Não existem estudos atualizados, no âmbito do Exército Brasileiro, sobre a largura de banda adequada para servir diferentes escalões da Força Terrestre em operações. Isso exigiu o estudo de diversas fontes sobre a relação entre serviços de rede e as larguras de banda de enlaces de dados ideias para sua plena utilização.

O Plano Nacional de Banda Larga (PNBL) brasileiro definiu o que se chama de largura de banda do tipo “banda larga” como aquela que “possibilite o tráfego de informações contínuo, ininterrupto e com capacidade suficiente para aplicações de dados, voz e vídeo mais comuns ou socialmente relevantes” (BRASIL, 2010). Essa definição não especifica a largura de banda e não se baseia em uma capacidade ou tecnologia pré-existente.

A *Federal Communications Commission* (FCC) do governo dos Estados Unidos, responsável pela regulação e fiscalização do setor das telecomunicações naquele país, estabeleceu em 2010 que a largura de banda mínima para que o serviço fosse considerado como “banda larga” era de 4 Mbps para *download* e 1 Mbps para *upload*. Em 2015, esses valores foram aumentados para 25 Mbps para *download* e 3 Mbps para *upload* (FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION, 2015).

A mesma comissão estabeleceu como guia os seguintes valores de largura mínima de banda de acordo com os serviços utilizados, que podem ser usados como parâmetros para guiar o estabelecimento de valores mínimos de banda necessária em cada escalão, expressos na Figura Nr 12:

Figura Nr 12 – Valores-base de largura de banda necessários para serviços de rede

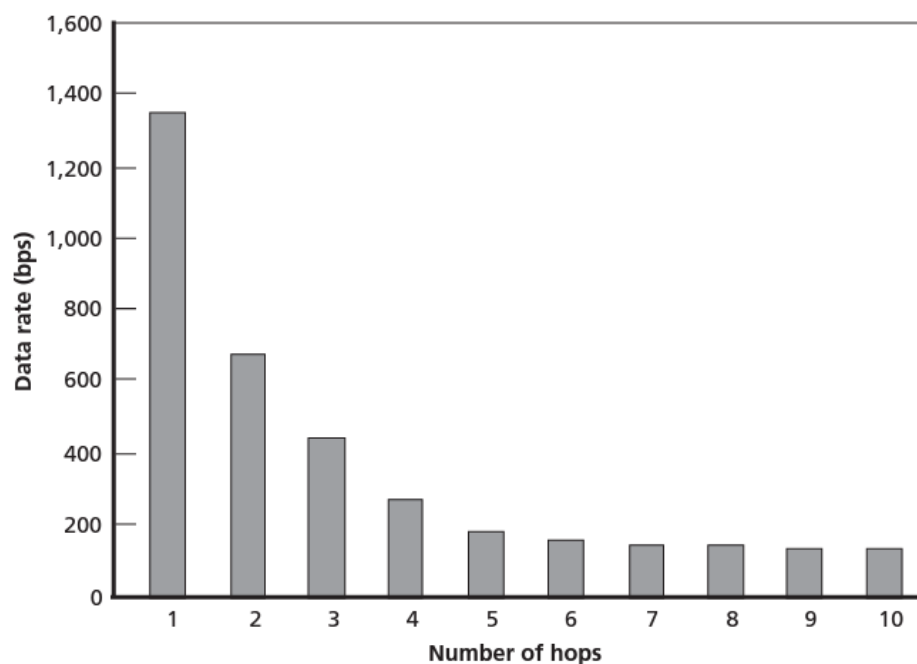
Atividade	Velocidade mínima de <i>download</i>
Navegação geral	1 Mbps
Correio eletrônico	1 Mbps
Chamadas de VoIP	Menor que 0,5 Mbps
Download de arquivos	10 Mbps
Mídia social	1 Mbps
<i>Streaming</i> de vídeo	3-4 Mbps
<i>Streaming</i> de vídeo em HD	5-8 Mbps
Chamada pessoal de vídeo	1 Mbps
Chamada pessoal de vídeo em HD	1,5 Mbps
Teleconferência em HD	6 Mbps

Fonte: UNITED STATES OF AMERICA, 2020.

Um estudo voltado às necessidades especificadas de forças militares foi desenvolvido pela RAND Corporation, *think tank* dos Estados Unidos, com a finalidade de identificar as necessidades futuras de largura de banda dos escalões do Exército estadunidense (JOE e PORCHE III, 2004). Embora esse estudo tenha sido realizado há quase duas décadas e, portanto, apresente resultados que podem ser considerados ultrapassados, ele também apresenta conclusões interessantes para a determinação das necessidades atuais de elementos servidos pelos enlaces do SCA da DE.

A primeira conclusão de interesse para o SCA é a de que a capacidade real de um enlace diminui drasticamente quando se aumenta a quantidade de “saltos” executada pelos dados que circulam pela rede. Os dados apresentados são descritos na Figura Nr 13, e são de especial importância para a avaliação do rendimento da malha nodal, que parte da premissa que a interrupção de um enlace não perturbará a confiabilidade da rede devido à existência de caminhos alternativos entre os centros nodais.

Figura Nr 13 – Diminuição do rendimento devido ao número de “saltos”



Fonte: LELAND e PORCHE III (2004).

Joe e Porche III (2004) relatam ainda o resultado dos experimentos conduzidos durante o *Division Advanced Warfighting Experiment (DAWE)*, Experimento Divisionário de Guerra Avançada, em inglês), conduzido em 1997 pela 4ª Divisão de Infantaria do Exército dos Estados Unidos da América em FORT HOOD, Texas. Esse exercício, conduzido com o explícito objetivo de verificar a performance e potencial de diversos sistemas de comunicações, identificou a demanda de dados no escalão brigada atingia valores de 1,7 Mbps nos momentos de máxima utilização dos sistemas, enquanto a mesma demanda atingia valores de 5,1 Mbps no nível divisão de exército.

Ainda em 2003, estudo do *Congressional Budget Office (CBO)* do Governo dos Estados Unidos previu, entre 2003 e 2010, um aumento anual de 15% da demanda por banda de dados, com a previsão de que essa demanda dobraria a cada cinco anos (CONGRESSIONAL BUDGET OFFICE, 2003). Além desse aumento, que o próprio trabalho considerou “conservador”, o CBO identificou que

pele menos uma iniciativa associada com a transformação do Exército [dos Estados Unidos] – o uso generalizado de sistemas aéreos remotamente pilotados (SARP) – aumentará de forma significativa a demanda para além das taxas de crescimento histórico (UNITED STATES OF AMERICA, 2003).

O mesmo trabalho estimou que, em 2010, as demandas máximas por banda de diferentes escalões em operações de guerra seriam aquelas apresentadas na Figura Nr 14, já considerando o emprego de SARP.

Figura Nr 14 – Demanda de banda efetiva, por escalões, em 2010

Escalão	Demanda máxima de banda efetiva
Corpo de Exército	30 a 100 Mbps
Divisão de Exército	10 a 30 Mbps
Brigada	3 a 10 Mbps
Batalhão	1 a 2 Mbps

Fonte: UNITED STATES OF AMERICA (2003)

A identificação da demanda de banda de dados, especialmente dos escalões divisão de exército e brigada, é importante na avaliação do rendimento dos enlaces de micro-ondas estabelecidos no SCA. Por se tratar do principal sistema de comunicações estabelecido no nível divisão de exército, cabe ao SCA prover a maior parte da banda de dados demandada tanto pela própria divisão de exército quanto das suas brigadas componentes.

5 AVALIAÇÃO DOS ENLACES DE MICRO-ONDAS

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A AVALIAÇÃO

O Manual de Campanha EB70-MC-10.211 Processo de Planejamento e Condução das Operações Terrestres (PPCOT) estabelece que uma linha de ação adotada deve ser validada mediante uma análise de sua adequabilidade, praticabilidade e aceitabilidade, no que se denomina de “prova de APA”. Essa etapa do planejamento é importante, porque “a validação e o aperfeiçoamento [da linha de ação] indicam se a linha de ação tem condições de solucionar o problema de forma satisfatória” (BRASIL, 2020b).

O Manual MD30-M-01 Doutrina de Operações Conjuntas, 1º volume, define os conceitos de adequabilidade, praticabilidade e aceitabilidade. De acordo com esse manual, uma linha de ação é adequada “se puder assegurar a consecução dos objetivos (...) estabelecidos e alcançar o estado final desejado” (BRASIL, 2011). Uma linha de ação é praticável “se puder ser implementada com os meios adjudicados, observando os prazos impostos e as características da área do conflito, bem como face às possibilidades do inimigo” (BRASIL, 2011). Por fim, o manual citado define que uma linha de ação é aceitável

se os prováveis resultados compensam os custos estimados, em relação à necessidade de recursos financeiros, às perdas em pessoal e material, à duração da campanha militar e aos danos causados à população, ao meio ambiente e à infraestrutura nacional das partes envolvidas (BRASIL, 2011).

Dois conceitos ligados à validação da linha de ação – a adequabilidade e a praticabilidade – estão associados, pelo menos parcialmente, a dois conceitos-chave que já foram discutidos neste trabalho: respectivamente, o rendimento dos sistemas estabelecidos e a utilização correta dos meios disponíveis.

Ao transpor o conceito da adequabilidade ao planejamento dos enlaces de micro-ondas por visada direta do sistema de comunicações de área, podemos observar que “a consecução dos objetivos” citada no conceito apresentado no Manual de Doutrina de Operações Conjuntas (1º volume) está associada ao fornecimento de uma largura de banda adequada para a demanda de dados esperada pelo elemento apoiado pelo sistema.

De forma similar, a aplicação do conceito da praticabilidade se traduz no emprego condizente e dentro do universo da possibilidade dos meios disponíveis, seja quanto às quantidades de nós de acesso, centros nodais e repetidores disponíveis, quanto o respeito às restrições impostas pelas características técnicas dos equipamentos – mais especificamente, os conjuntos rádio MH513 já apresentados neste trabalho.

O terceiro critério utilizado na validação das linhas de ação – a aceitabilidade – é mais difícil de ser aplicada aos sistemas de enlaces por micro-ondas e, de forma geral, aos sistemas de comunicações como um todo, uma vez que, ao contrário da guerra eletrônica, os meios disponíveis de comunicações atuam potencializando o poder de combate das tropas daquele escalão e não atuam diretamente sobre as capacidades de comunicações do oponente.

Dessa forma, dois conceitos presentes na “prova de APA”, a adequabilidade e a praticabilidade, podem ser usados como base para o estabelecimento de uma sistemática de avaliação dos enlaces de uma malha nodal no nível divisão de exército.

5.2 DETALHAMENTO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

5.2.1 Avaliação do rendimento dos enlaces (“adequabilidade”)

O desempenho adequado do sistema pode ser identificado através da avaliação do serviço disponibilizado ao elemento que é apoiado pelo sistema. No caso da divisão de exército, o rendimento do enlace pode ser identificado através da largura de banda de dados que é fornecida a determinado elemento apoiado pelo enlace que compõe o SCA.

Para que essa avaliação seja feita, na ausência de estudos detalhados pelo Exército Brasileiro sobre a largura de banda adequada de dados para cada escalão da Força Terrestre, este trabalho propõe a utilização dos dados apresentados na Figura Nr 14 deste trabalho, baseada na demanda máxima de banda efetiva de dados para cada escalão do Exército dos Estados Unidos visualizada em 2010.

Elementos subordinados de escalões diferentes podem estar diretamente subordinados a uma divisão de exército. Conforme discutido anteriormente neste trabalho, embora uma divisão de exército tenha diversas brigadas subordinadas – além de uma artilharia divisionária e de um grupamento de engenharia, cujas

demandas de dados para fins deste trabalho serão equiparadas às brigadas por similaridade entre suas estruturas – entre seus elementos subordinados também se encontram elementos de valor distinto, como um regimento de cavalaria mecanizado (valor unidade).

O rendimento dos enlaces que compõe o SCA – ou seja, a largura de banda de dados que fornecem – depende das distâncias percorridas por cada enlace. A relação das distâncias e da largura de banda fornecida pelos enlaces de micro-ondas do SCA foram apresentadas na tabela que compõe a Figura Nr 7 deste trabalho.

Dessa forma, o responsável pela avaliação do planejamento do sistema nodal de uma divisão de exército deve, em um primeiro momento:

- a. identificar a largura de banda adequada a cada escalão apoiado pelo SCA da divisão de exército; e
- b. verificar se a distância percorrida pelos enlaces permite o fornecimento da banda adequada para cada escalão.

Nessa verificação, as informações presentes no quadro do sistema multicanal (QSMC) e no diagrama do sistema multicanal (DSMC) se mostram fundamentais. A necessidade da locação dos principais órgãos que compõe a malha nodal nesses dois documentos permite a verificação da adequabilidade do sistema planejado antes mesmo da implantação desses órgãos no ambiente simulado no exercício de simulação construtiva.

5.2.2. Avaliação da exequibilidade dos enlaces (“praticabilidade”)

Conforme descrito anteriormente, a praticabilidade da malha nodal planejada para o SCA depende de dois fatores: o emprego adequado dos meios disponíveis e o respeito às características técnicas dos componentes do sistema.

O emprego adequado dos meios pode ser verificado pelo respeito à dotação de nós de acesso, centros nodais e repetidores no planejamento. A dotação desses meios é uma condição importante para o planejamento do SCA e, da mesma forma que a ordem de batalha das forças envolvidas no sistema de simulação construtiva deve ser verificada minuciosamente, a quantidade de meios do sistema nodal disponíveis ao batalhão de comunicações divisionário deve ser estabelecida de forma clara pela Direção do Exercício antes da execução do planejamento.

Uma proposta de quantidade de meios disponíveis, baseada no Manual de Ensino EB60-ME-12.303 Planejamento de Comunicações e Guerra Eletrônica, foi apresentada na Figura Nr 10 deste trabalho.

O respeito às características técnicas é fundamental para que o planejamento dos enlaces de micro-ondas do SCA se converta em um sistema que atenda às demandas da divisão de exército. Para que essas características técnicas sejam incorporadas ao exercício de simulação construtiva, faz-se necessário estabelecer qual o nível de detalhamento desejado e se há necessidade de que o próprio enlace seja incorporado ao sistema que conduz a simulação construtiva.

Na aplicação da metodologia de avaliação proposta neste trabalho, buscou-se minimizar o nível de detalhamento técnico das características dos equipamentos responsáveis pelos enlaces àqueles considerados mínimos para o planejamento adequado do sistema. Essas características, quando analisadas de forma integrada, permitiram estabelecer a praticabilidade daquele enlace com razoável grau de realismo – ou seja, se ele seria estabelecido da forma como foi planejado. Essas características mínimas foram aquelas descritas de forma sumária na seção 4.1.2 deste trabalho.

Para realizar essa integração, ao invés de buscar a incorporação dos dados e algoritmos necessários para o processamento dos enlaces ao sistema de simulação, buscou-se adotar um segundo programa, de funcionamento simples, que permitisse a rápida e eficaz verificação da praticabilidade dos enlaces planejados.

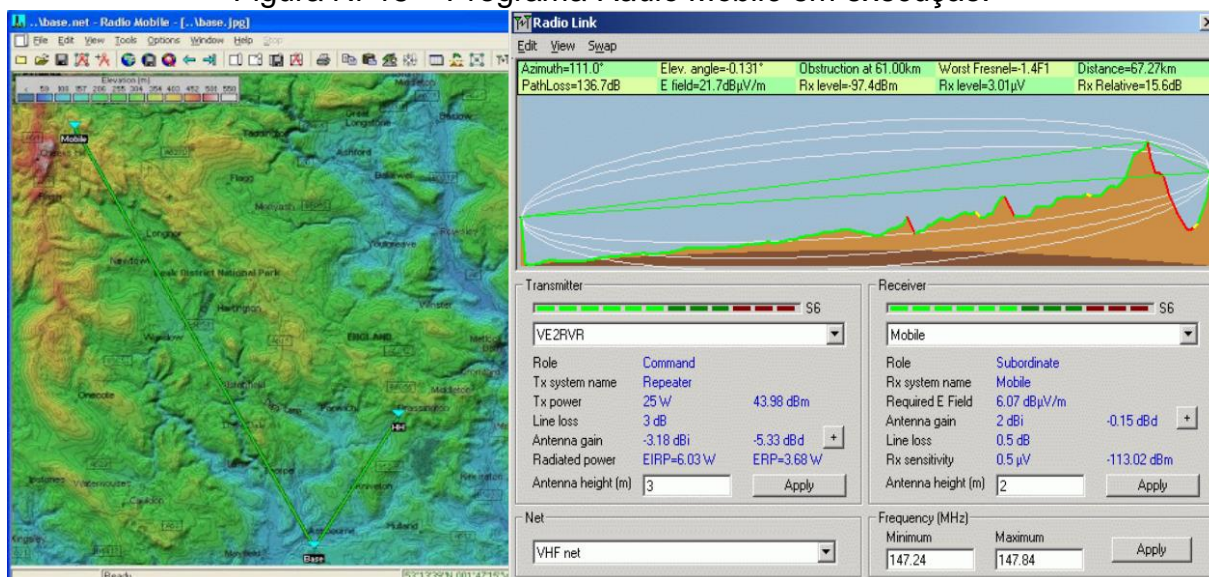
O programa escolhido foi o *Radio Mobile*, gratuito e disponível em <https://www.ve2dbe.com>. Esse programa constitui-se em uma

Ferramenta bastante utilizada por civis e militares, seja no meio acadêmico, seja no profissional. Além de gratuito, ele permite estudar a viabilidade de sistemas de radiofrequência para comunicação de voz e dados (...) É uma aplicação altamente flexível e eficaz porque leva em consideração a topografia da região, condições climáticas, altitude, obstáculos e as especificações dos equipamentos, como a potência de transmissão, nível de sensibilidade, ganho de antena, distância de cabos, e a partir disso, consegue projetar grandes sistemas de telecomunicações (PAULA, 2020).

A Figura Nr 15 apresenta uma imagem do programa *Radio Mobile* em execução. A tela à esquerda permite observar que o programa trabalha com as informações atuais do terreno, importadas de arquivos com informações topográficas de terceiros ou de banco de dados da Internet. A tela da direita apresenta a avaliação de um enlace

na faixa de frequência de 147,24-147,84 MHz, a qualidade do sinal no receptor e o seu desempenho ao longo do percurso do sinal.

Figura Nr 15 – Programa *Radio Mobile* em execução.



Fonte: PAULA, 2020.

A utilização do programa *Radio Mobile* permite o confronto dos obstáculos impostos pelo terreno e distâncias com o planejamento do SCA, conferindo um grau de realismo à simulação que não pode ser obtido pela simples análise da documentação produzida ou pela análise sumária das posições dos postos que compõe a malha nodal na carta topográfica.

5.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

5.3.1 Condições de aplicação

Para aplicação da metodologia de avaliação de enlaces de micro-ondas do sistema de comunicações de área, foi utilizada situação de exercício apresentada na Escola de Comando e Estado-Maior do Exército em 2023, envolvendo uma divisão de exército composta por três brigadas, uma artilharia divisionária e um grupamento de engenharia, além dos demais elementos que compõe uma DE à luz da doutrina vigente no exército.

Na situação apresentada, a 2ª Divisão de Exército encontra-se realizando uma defesa em posição, com duas brigadas desdobradas em 1º escalão, uma brigada em reserva e um regimento de cavalaria mecanizado desdobrado junto ao limite anterior da área de defesa avançada (LAADA).

A fim de facilitar a identificação dos enlaces, os seguintes elementos fazem parte da composição de meios da 2ª DE:

- a. 51ª Brigada de Infantaria Mecanizada (51ª Bda Inf Mec), realizando uma defesa elástica a sul;
- b. 55ª Brigada de Infantaria Motorizada (55ª Bda Inf Mtz), atuando como força de fixação da defesa móvel da 2ª DE;
- c. 2º Regimento de Cavalaria Mecanizado (2º RC Mec), realizando defesa de área a norte; e
- d. 41ª Brigada de Cavalaria Blindada (41ª Bda C Bld), em zona de reunião, em condições de atuar como força de choque na defesa móvel da 2ª DE.

Além dos elementos de combate, foram considerados no planejamento a posição do Posto de Comando Principal dos seguintes elementos, previstos na doutrina vigente como participantes da malha nodal do SCA através de nós de acesso fornecidos pelo batalhão de comunicações divisionário:

- a. Artilharia Divisionária da 2ª DE (AD/2); e
- b. 2º Grupamento de Engenharia (2º Gpt E).

Os demais elementos da 2ª DE não foram considerados por não estarem inseridos no sistema de comunicações de área por meio dos enlaces de micro-ondas estabelecidos pela malha nodal, mas por outros sistemas que não foram abordados neste trabalho, como terminais de acesso rádio (TAR), equipamentos de interface rádio (EIR) e o sistema de assinante móvel (SAM).

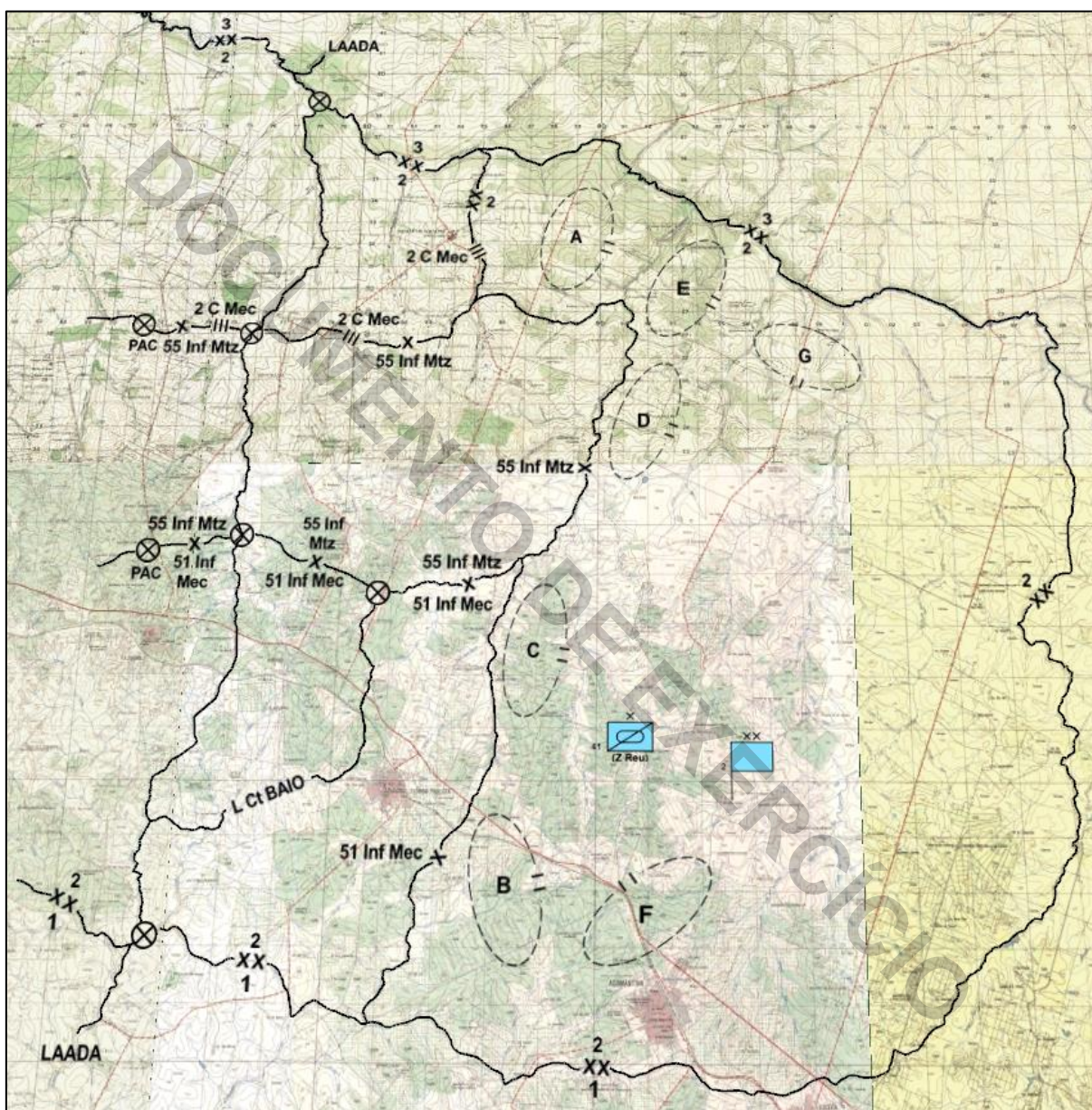
O 2º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica (2º B Com GE) é o elemento responsável pelo desdobramento do sistema de comunicações de área da 2ª DE. Para a situação do exercício, o Comandante do 2º B Com GE também é o Chefe da Seção de Comunicações e Guerra Eletrônica da 2ª DE e, como tal, responsável pelo planejamento do SCA.

A Figura Nr 16 apresenta o esquema de manobra da 2ª DE, conforme descrição anterior.

Para o estabelecimento dos enlaces de micro-ondas que compõem o SCA, foi utilizada a dotação de centros nodais, nós de acesso e repetidoras previstos no

Manual de Ensino EB60-ME-12.303 Planejamento de Comunicações e Guerra Eletrônica, apresentados na Figura Nr 10 deste trabalho e discutidos na seção 4.2.2. Além disso, foi determinado que os nós de acesso em apoio ao Posto de Comando Principal e ao Posto de Comando Alternativo de cada brigada em 1º escalão seriam fornecidos pela Companhia de Comunicações daquele escalão, e suas posições informadas ao Comandante do 2º B Com GE.

Figura Nr 16 – Esquema de Manobra da 2ª DE.



Fonte: O autor.

Durante o planejamento dos enlaces do sistema de comunicações de área, o Cmt 2º B Com GE buscou privilegiar o princípio de guerra da segurança, desdobrando seus centros nodais a uma distância superior a 20km do LAADA e, portanto, fora do alcance da artilharia de tubo do inimigo.

Cada nó de acesso estabeleceu dois enlaces com centros nodais diferentes, conferindo confiabilidade ao sistema por meio da existência de ligações alternativas em caso de destruição ou interrupção do funcionamento de um centro nodal.

O Comandante do 2º B Com GE também desdobrou um nó de acesso junto ao Posto de Comando Principal do 2º Regimento de Cavalaria Mecanizado, integrando-o diretamente à malha nodal.

O SCA planejado empregou 5 (cinco) dos centros nodais e nenhum dos repetidores multicanais disponíveis para o 2º B Com GE.

A Figura Nr 17 apresenta um extrato do Quadro do Sistema Multicanal (QSMC) apresentado pelo Comandante do 2º B Com GE. Por questões de limitação de espaço, e com o objetivo de sintetizar as possibilidades da avaliação dos enlaces do SCA, somente esses enlaces serão avaliados na próxima seção.

Figura Nr 17 – Extrato do QSMC/2ª DE

Sítio de Antenas e Enlaces	Coordenadas ³
CN 1 PCP 51ª Bda Inf Mec PCP 41ª Bda C Bld CN 2 CN 5	(21º 39' 44,87" S – 51º 1' 27,43" W) (21º 36' 53,33" S – 51º 3' 6,69" W) (21º 36' 46,20" S – 51º 5' 24,38" W) (21º 34' 38,58" S – 51º 0' 55,81" W) (21º 37' 7,79" S – 50º 58' 44,80" W)
CN 2 PCP 2ª DE PCP 51ª Bda Inf Mec CN 1 CN 3 CN 4	(21º 34' 38,58" S – 51º 0' 55,81" W) (21º 36' 53,33" S – 51º 3' 6,69" W) (21º 36' 53,33" S – 51º 3' 6,69" W) (21º 39' 44,87" S – 51º 1' 27,43" W) (21º 31' 55,92" S – 51º 1' 33,40" W) (21º 30' 42,84" S – 50º 59' 27,77" W)
CN 3 PCP 2º RC Mec PCP 55ª Bda Inf Mtz CN 2 CN 4	(21º 31' 55,92" S – 51º 1' 33,40" W) (21º 25' 56,88" S – 51º 9' 40,40" W) (21º 30' 25,39" S – 51º 9' 46,97" W) (21º 34' 38,58" S – 51º 0' 55,81" W) (21º 30' 42,84" S – 50º 59' 27,77" W)

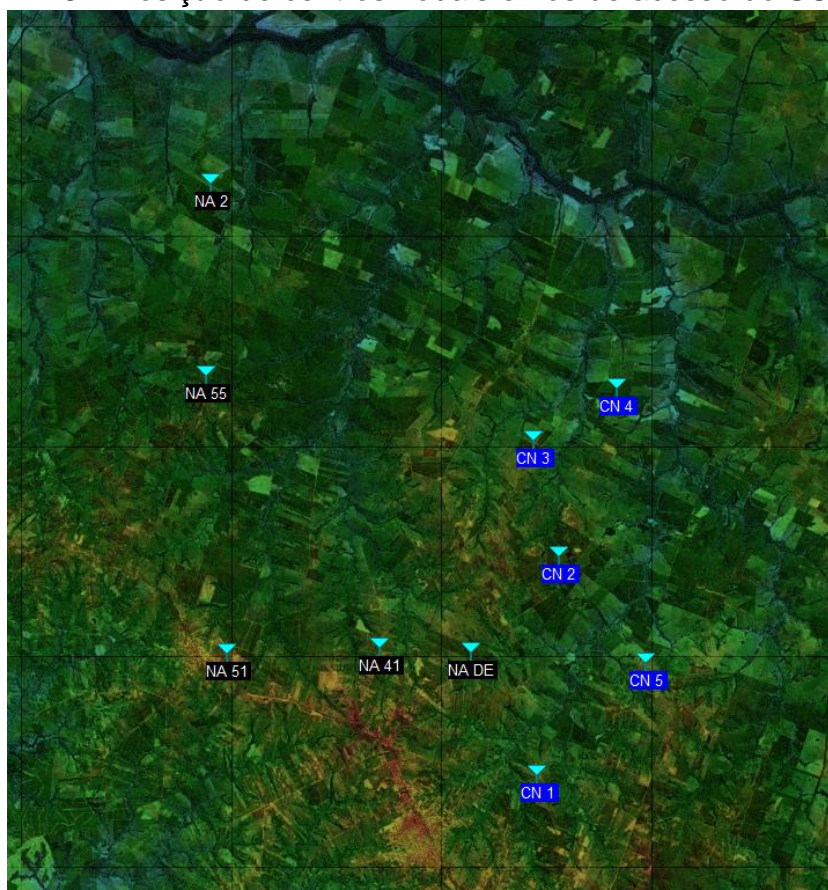
³ As coordenadas dos PCP referem-se à posição dos seus respectivos nós de acesso.

Sítio de Antenas e Enlaces	Coordenadas ³
CN 4	(21° 30' 42,84" S – 50° 59' 27,77" W)
PCP 2° RC Mec	(21° 25' 56,88" S – 51° 9' 40,40" W)
PCP 55ª Bda Inf Mtz	(21° 30' 25,39" S – 51° 9' 46,97" W)
CN 2	(21° 34' 38,58" S – 51° 0' 55,81" W)
CN 3	(21° 31' 55,92" S – 51° 1' 33,40" W)
CN 5	(21° 37' 7,79" S – 50° 58' 44,80" W)
CN 5	(21° 37' 7,79" S – 50° 58' 44,80" W)
PCP 2ª DE	(21° 36' 53,33" S – 51° 3' 6,69" W)
PCP 41ª Bda C Bld	(21° 36' 46,20" S – 51° 5' 24,38" W)
CN 1	(21° 39' 44,87" S – 51° 1' 27,43" W)
CN 4	(21° 30' 42,84" S – 50° 59' 27,77" W)

Fonte: o autor.

A posição dos nós de acesso e centros nodais citados na Figura Nr 17 pode ser visualizada na Figura Nr 18, produzida no programa *Radio Mobile*⁴.

Figura Nr 18 – Posição de centros nodais e nós de acesso do SCA/2ª DE



Fonte: o autor.

⁴ Para simplificar a descrição de cada nó de acesso, adotou-se a seguinte codificação: NA2 refere-se ao nó de acesso do PCP/2° RC Mec; NA 41 refere-se ao nó de acesso do PCP/41ª Bda C Bld; NA 51 refere-se ao nó de acesso do PCP/51ª Bda Inf Mec; NA 55 refere-se ao nó de acesso em apoio à 55ª Bda Inf Mtz; e NA DE refere-se ao nó de acesso do PCP/2ª DE.

5.4 AVALIAÇÃO DOS ENLACES

5.4.1 Avaliação do rendimento dos enlaces (“adequabilidade”)

O principal critério usado na avaliação do rendimento dos enlaces é a capacidade daquele enlace em fornecer a largura de banda necessária para aquele escalão. Essa capacidade deriva-se dos limites técnicos do equipamento e da distância entre o transmissor e o receptor.

O resultado obtido nos enlaces descritos anteriormente é apresentado na Figura Nr 19, discriminados por cada elemento apoiado e relacionando a distância entre transmissor e receptor, a largura de banda necessária para o funcionamento de todos os sistemas de comunicações daquele elemento, a largura de banda obtida pelo enlace de micro-ondas do SCA e uma breve avaliação do rendimento desse enlace.

Essa fase da avaliação considera que todos os enlaces foram estabelecidos com sucesso – o que será verificado na próxima fase da avaliação. Além disso, para que o planejamento para aquele escalão seja considerado adequado, basta que um dos enlaces estabelecidos em favor daquele elemento forneça a largura de banda necessária para a sua demanda.

Figura Nr 19 – Avaliação da adequabilidade dos enlaces de junção

Elemento	Enlace	Distância (km)	Largura de banda necessária	Largura de banda obtida	Avaliação
Cmdo 2ª DE	NA DE-CN2	5,61	30 Mbps	34 Mbps	Adequado
	NA DE-CN5	7,53		34 Mbps	
41º Bda C Bld	NA41-CN1	8,76	10 Mbps	34 Mbps	Adequado
	NA41-CN5	11,49		34 Mbps	
51ª Bda Inf Mec	NA51-CN1	14,41	10 Mbps	34 Mbps	Adequado
	NA51-CN2	14,94		34 Mbps	
55ª Bda Inf Mtz	NA55-CN4	17,79	10 Mbps	8 Mbps	Adequado
	NA55-CN3	14,44		34 Mbps	
2º RC Mec	NA2-CN3	17,84	2 Mbps	8 Mbps	Adequado
	NA2-CN4	19,68		8 Mbps	

Fonte: o autor.

Os enlaces de junção (entre os nós de acesso e um centro nodal) constituem-se apenas parte da malha nodal. O núcleo da rede é formado pelos enlaces de rede entre centros nodais, que também necessitam ser avaliados. Caso um dos enlaces de rede planejado apresente um rendimento inferior à maior demanda de banda de dados

entre os escalões apoiados pelo sistema, aquele enlace atuará como limitador no desempenho médio da rede como um todo.

A Figura Nr 20 apresenta o resultado obtido na avaliação dos enlaces de rede planejados, à semelhança do apresentado na tabela anterior.

Figura Nr 20 – Avaliação da adequabilidade dos enlaces de rede

Enlace	Distância (km)	Largura de banda necessária	Largura de banda obtida	Avaliação
CN 1 – CN 2	9,5	30 Mbps	34 Mbps	Adequado
CN 1 – CN 5	6,73		34 Mbps	Adequado
CN 2 – CN 3	5,14		34 Mbps	Adequado
CN 2 – CN 4	7,7		34 Mbps	Adequado
CN 3 – CN 4	4,25		34 Mbps	Adequado
CN 4 – CN 5	11,95		34 Mbps	Adequado

Fonte: o autor.

Quanto ao resultado obtido na avaliação da adequabilidade dos enlaces, observou-se que os enlaces planejados, caso sejam estabelecidos com sucesso, atendem às demandas de banda de dados dos elementos apoiados.

À exceção dos enlaces do nó de acesso da 55ª Bda Inf Mtz, todos os demais postos de comando foram apoiados com dois enlaces capazes de suprir a demanda necessária. Além de aumentar a banda de dados efetiva disponível para aquele elemento, a existência de dois enlaces adequados permite o pleno funcionamento dos sistemas de comando e controle mesmo com a interrupção de um dos enlaces, garantindo a confiabilidade do sistema de comunicações de área.

Há de se destacar, no entanto, que as estimativas da largura de banda necessária para cada elemento foram conservadoras, baseada em estudos com mais de uma década de existência, provavelmente defasados em relação aos meios e sistemas de comando e controle utilizados no contexto atual. Em especial, chama a atenção a baixa demanda exigida pelo 2º Regimento de Cavalaria Mecanizado, diretamente subordinado à 2ª DE, com uma demanda estimada em apenas 2 Mbps. Uma breve consulta à Figura Nr 12 deste trabalho, que relaciona as larguras de banda exigidas por diversos serviços de rede atualmente, revela que essa largura de banda seria inadequada para o funcionamento da maior parte dos serviços de rede utilizados atualmente. No entanto, a largura de banda efetiva fornecida pelos enlaces do sistema

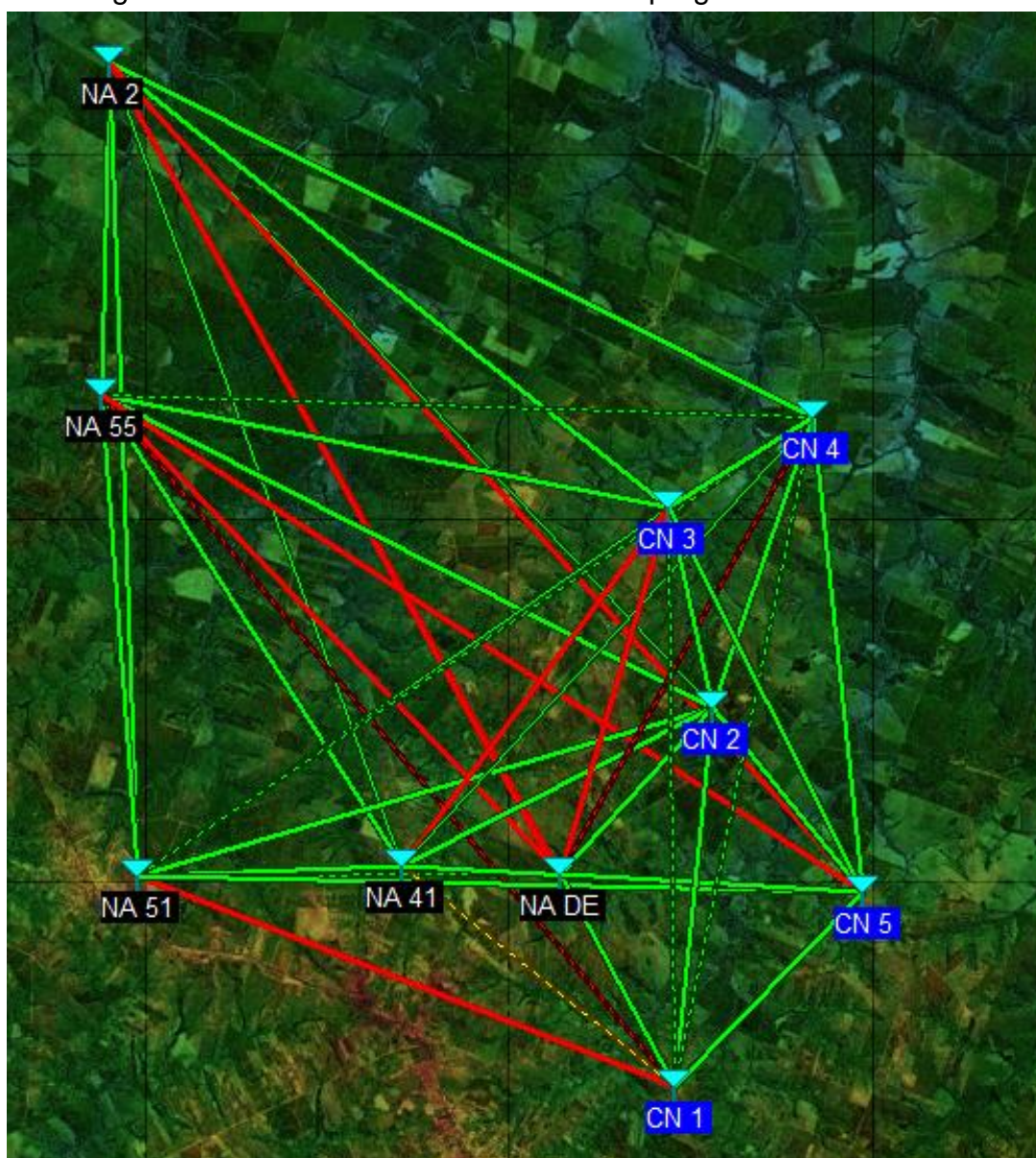
de comunicações de área de 8 Mbps permitiria ao 2º RC Mec o acesso a serviços mais adequados como teleconferência e *streaming*.

5.4.2 Avaliação da exequibilidade dos enlaces (“praticabilidade”)

O principal fator envolvido com a determinação da praticabilidade do enlace foi o confronto do planejamento dos enlaces com o terreno e as características técnicas do equipamento. Esse confronto foi realizado por meio do programa *Radio Mobile*.

A Figura Nr 21 apresenta todos os enlaces possíveis entre os nós de acesso e os centros nodais planejados pelo 2º B Com GE. Devido a limitações do programa *Radio Mobile*, não é possível apresentar graficamente somente um determinado grupo de enlaces, motivo pelo qual cada posto estabeleceu, na figura, um enlace com cada outro posto existente na malha nodal. Na Figura Nr 21, os enlaces foram identificados com cores e preenchimento, de acordo com critérios de avaliação estabelecidos para o sistema:

- a. Enlaces de **linha contínua**, na **cor verde**: estabelecidos com sucesso, com alta disponibilidade (estarão disponíveis por mais de 80% do tempo).
- b. Enlaces de **linha tracejada**, na **cor verde**: estabelecidos com sucesso, com reduzida disponibilidade (disponíveis por menos de 80% do tempo).
- c. Enlaces de **linha tracejada**, na **cor amarela**: enlaces estabelecidos com baixa qualidade do sinal e reduzida disponibilidade (disponíveis por menos de 80% do tempo).
- d. Enlaces de **linha tracejada**, na **cor vermelha**: enlaces tecnicamente estabelecidos, mas em condições que não permitem a comunicação de dados efetiva entre transmissor e receptor.
- e. Enlaces de **linha contínua**, na **cor vermelha**: enlaces que não foram estabelecidos.

Figura Nr 21 – Enlaces estabelecidos no programa *Radio Mobile*

Fonte: o autor.

O resultado dos enlaces de rede e junção planejados pelo 2º B Com GE foram compilados na Tabela Nr 2. Nessa tabela, cada enlace foi avaliado separadamente de acordo com a sua praticabilidade, de acordo com o resultado apresentado no *Radio Mobile*. O sucesso no estabelecimento dos enlaces e a sua disponibilidade por período superior a 80% do tempo foram os critérios usados na avaliação geral de cada enlace.

Tabela Nr 2 – Avaliação da praticabilidade dos enlaces

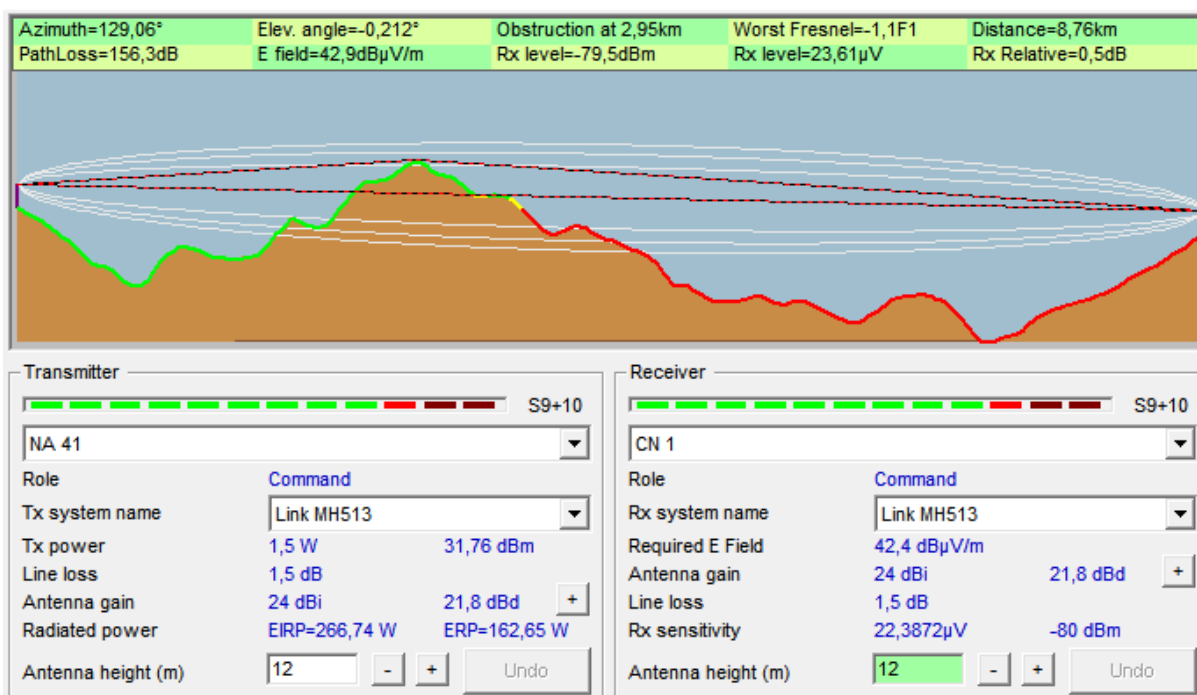
Elemento	Enlace	Estabelecido com sucesso?	Disponibilidade adequada?	Avaliação geral
PCP 2ª DE	NA DE – CN 2	Sim	Sim	Praticável
	NA DE – CN 5	Sim	Sim	Praticável
PCP 41ª Bda C Bld	NA 41 – CN 1	Parcialmente	Não	Impraticável
	NA 41 – CN 5	Sim	Sim	Praticável
PCP 51ª Bda Inf Mec	NA 51 – CN 1	Não	Não	Impraticável
	NA 51 – CN 2	Sim	Sim	Praticável
PCP 55ª Bda Inf Mec	NA 55 – CN 3	Sim	Sim	Praticável
	NA 55 – CN 4	Sim	Não	Impraticável
PCP 2º RC Mec	NA 2 – CN 3	Sim	Sim	Praticável
	NA 2 – CN 4	Sim	Sim	Praticável
-	CN 1 – CN 2	Sim	Sim	Praticável
-	CN 1 – CN 5	Sim	Sim	Praticável
-	CN 2 – CN 3	Sim	Sim	Praticável
-	CN 2 – CN 4	Sim	Sim	Praticável
-	CN 3 – CN 4	Sim	Sim	Praticável
-	CN 4 – CN 5	Sim	Sim	Praticável

Fonte: o autor.

A análise detalhada dos enlaces considerados impraticáveis permite identificar aspectos que não foram atendidos no planejamento dos sistemas de enlace. A Figura Nr 22 apresenta graficamente uma avaliação detalhada do enlace de micro-ondas por visada direta entre o nó de acesso do PCP 41ª Bda C Bld (NA 41) e o centro nodal Nr 1 (CN 1). Observa-se que o enlace foi estabelecido, uma vez que há sinal atingindo o receptor com ganho marginalmente superior à sensibilidade do conjunto rádio receptor. Entretanto, a qualidade do sinal foi considerada baixa. O principal fator que gerou esse baixo desempenho pode ser identificado no perfil do terreno, em uma elevação localizada a 2,95km do nó de acesso do PCP 41ª Bda C Bld. Essa elevação, com altitude de 455,1m, é superior à soma da altitude da posição do centro nodal Nr 1 (415m) e a altura do mastro da antena (12m) e, também superior à soma da altitude da posição do nó de acesso (429m) com a altura do mastro da antena (12m).

A observação do mapa geral de enlaces possíveis apresentado na Figura Nr 21 revela que o nó de acesso do PCP 41ª Bda C Bld poderia ter estabelecido enlace com o centro nodal Nr 2 em vez do enlace com o centro nodal Nr 1. Todos esses fatores poderiam ter sido identificados através de um exame mais minucioso do terreno e, portanto, identifica uma falha no processo de planejamento do sistema de comunicações de área da 2ª DE.

Figura Nr 22 – Enlace entre NA 41 e CN 1



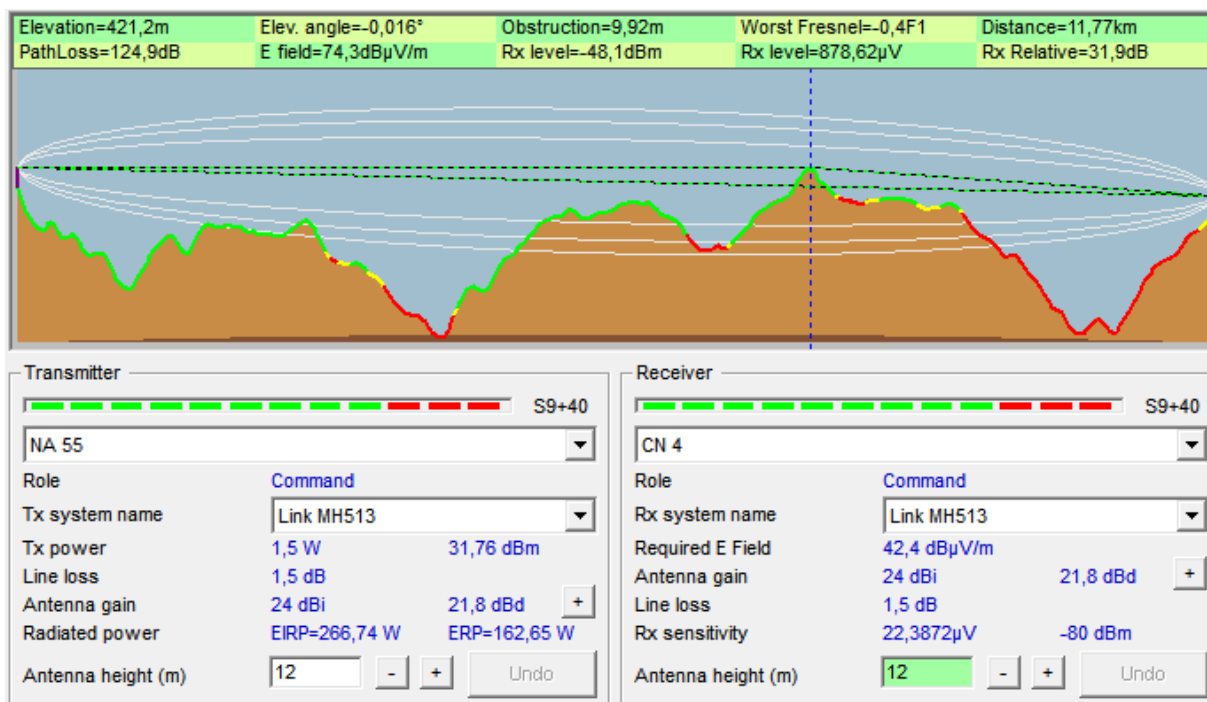
Fonte: o autor.

Já a avaliação do enlace entre o nó de acesso do PCP 55ª Bda Inf Mtz (NA 55) e o centro nodal Nr 4 (CN 4) revela características que não seriam observadas sem a aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

A Figura Nr 23 apresenta graficamente a análise desse enlace. Observa-se que o baixo desempenho do enlace é causado pela existência de obstrução na forma de movimento do terreno em posição a 11,77 km do nó de acesso do PCP 55ª Bda Inf Mtz. Entretanto, o estudo da carta utilizada no planejamento revela que as informações contidas na carta não eram suficientes para a identificação desse obstáculo. Na carta topográfica, o movimento do terreno apresentava pontos cotados de altura entre 390 e 400 metros, inferior à soma das altitudes de NA 55 (413,7m) e CN 4 (398,2m) com seus respectivos mastros de antena (12m, em ambos os casos). Dessa, forma, a aplicação da avaliação dos enlaces permitiu a identificação de um problema real que não seria abordado em outra situação.

Na avaliação final dos enlaces, contida na coluna “resultado”, foi considerado “positivo” o enlace de junção que permitiu a um posto de comando integrado à malha nodal por pelo menos um enlace adequado e praticável. No caso dos enlaces de rede, cada enlace foi avaliado individualmente.

Figura Nr 23 – Enlace entre NA 55 e CN 4



Fonte: o autor.

5.4.3 Resultado geral da avaliação

Após a avaliação da adequabilidade e da praticabilidade dos enlaces, a agregação dos resultados obtidos pode ser observada na Tabela Nr 3.

Tabela Nr 3 – Resultado da avaliação de enlaces

Elemento	Enlace	Adequabilidade	Praticabilidade	Resultado
PCP 2ª DE	NA DE – CN 2	Sim	Sim	Positivo
	NA DE – CN 5	Sim	Sim	
PCP 41ª Bda C Bld	NA 41 – CN 1	Sim	Não	Positivo
	NA 41 – CN 5	Sim	Sim	
PCP 51ª Bda Inf Mec	NA 51 – CN 1	Sim	Não	Positivo
	NA 51 – CN 2	Sim	Sim	
PCP 55ª Bda Inf Mec	NA 55 – CN 3	Sim	Sim	Positivo
	NA 55 – CN 4	Não	Não	
PCP 2º RC Mec	NA 2 – CN 3	Sim	Sim	Positivo
	NA 2 – CN 4	Sim	Sim	
-	CN 1 – CN 2	Sim	Sim	Positivo
-	CN 1 – CN 5	Sim	Sim	Positivo
-	CN 2 – CN 3	Sim	Sim	Positivo
-	CN 2 – CN 4	Sim	Sim	Positivo
-	CN 3 – CN 4	Sim	Sim	Positivo
-	CN 4 – CN 5	Sim	Sim	Positivo

Fonte: o autor.

O impacto do resultado da avaliação à situação do exercício poderia ser visualizado da seguinte forma: todos os elementos apoiados pelo sistema de comunicações de área da 2ª DE estariam conectados à malha nodal por ocasião da abertura da rede; no entanto, o Cmt 2º B Com GE deveria planejar novamente os enlaces de junção dos nós de acesso do PCP 41ª Bda C Bld, do PCP 51ª Bda Inf Mec e da 55ª Bda Inf Mtz, de forma que todos esses nós de acesso tivessem dois enlaces com os demais componentes da malha nodal. Não se observa, assim, impacto maior causado pelos enlaces não estabelecidos nos sistemas de comando e controle da 2ª DE.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o estabelecimento de sistemática para validação do planejamento de Comunicações em um exercício de simulação construtiva no escalão divisão de exército. Para que esse objetivo fosse atingido, foram elencados alguns objetivos intermediários, tais como realizar a revisão doutrinária a respeito do emprego da simulação construtiva, da organização do jogo de guerra, do escalão divisão de exército e do sistema de comunicações de área desdobrado em apoio à DE; e estabelecer parâmetros e metodologia simples para validação da eficácia e eficiência dos sistemas de comunicações baseados em enlaces terrestres de micro-ondas do sistema nodal de uma DE.

Para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado, foi necessário identificar as características dos sistemas de enlace em micro-ondas em visada direta, além dos aspectos doutrinários relativos ao emprego desse tipo de equipamento.

A análise dos fatores técnicos e doutrinários envolvendo o sistema nodal permitiu o estabelecimento de padrões mínimos que caracterizassem o desdobramento eficaz do sistema em apoio ao sistema de comando e controle da divisão de exército. Esses padrões mínimos estão ligados à capacidade do sistema, medida através da largura de banda disponibilizada para cada elemento da divisão de exército apoiado por um enlace do sistema nodal, e ao estabelecimento bem-sucedido da malha nodal, através do lançamento das posições planejadas dos centros nodais e nós de acesso em um simulador capaz de agregar as informações do terreno, as características técnicas do sistema e a sua posição geográfica planejada.

Os padrões mínimos identificados foram validados através da sua aplicação a um sistema de comunicações nodal planejado em apoio a uma divisão de exército em um exercício apoiado sobre a carta. Durante essa validação, foram observadas oportunidades de melhoria no planejamento do sistema de comunicações que não teriam sido identificadas sem a aplicação dessa metodologia. Dessa forma, a aplicação dos padrões estabelecidos neste trabalho contribuiu para o aperfeiçoamento do planejamento de comunicações no nível da divisão de exército e, dessa forma, cumpriu adequadamente o objetivo principal proposto.

O sucesso na aplicação dessa sistemática contribuiu para o estabelecimento de uma abordagem simples de avaliação do planejamento das comunicações em um exercício de simulação construtiva. Conforme observado neste trabalho, a

inexistência atual de uma ferramenta que permita a contextualização factível dos efeitos dos sistemas de comando e controle nas operações conduzidas durante um exercício de simulação construtiva contribui para que a importância do planejamento adequado desses sistemas seja ignorada. Ao mesmo tempo, essa situação faz com que comandantes e oficiais de Estado-Maior desenvolvam expectativas sobre as capacidades de comando e controle que não condizem com a realidade em um cenário de guerra.

Ao contribuir para o aprimoramento do emprego da ferramenta da simulação construtiva no adestramento da Força Terrestre, este trabalho alinou-se com o Plano Estratégico do Exército (2019), através do Objetivo Estratégico do Exército nº 5 – Modernizar o Sistema Operacional Militar Terrestre (SISOMT) – Preparo e Emprego da Força Terrestre.

Apesar do sucesso deste trabalho, é importante notar que a metodologia de avaliação proposta foi aplicada somente aos sistemas de enlace de micro-ondas por visada direta, que compõe o núcleo do sistema nodal de uma divisão de exército. Por limitações de tempo e espaço, uma ampla gama de meios de comunicações, como os enlaces rádio convencionais, enlaces de micro-ondas por meio satelital e o emprego de meios físicos como fibra óptica deixaram de ser estudados e avaliados, em parte devido às suas características físicas e doutrinárias bastante diferentes. Essa ausência apresenta importante oportunidade para estudos futuros, no escalão divisão de exército ou inferiores.

Por fim, uma outra oportunidade de estudo futuro identificada neste trabalho está na contextualização do resultado da avaliação dos sistemas de enlace planejados com o próprio transcorrer do exercício. Um enlace mal planejado que resulte em um elemento específico da divisão de exército isolado do sistema de comunicações de área pode resultar na interrupção de alguns dos sistemas utilizados na manutenção da consciência situacional do comandante e do Estado-Maior daquele elemento durante o exercício de simulação construtiva, de acordo com uma sistemática identificada em possível trabalho futuro.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Paulo Sisnando Rodrigues de. Considerações sobre o Programa Nacional de banda larga (PNBL). **Revista do Tribunal de Contas da União**. Brasília. ed. nº 124 (maio-agosto). 2012. p. 24-35. 2012.
- BRASIL. Exército. **C 11-1: emprego das comunicações**. 2. ed. Brasília: 1997.
- _____. Exército. **C 11-20: batalhão de comunicações**. 1. ed. Brasília: 2003.
- _____. Exército. **C 11-61: comunicações na divisão de exército**. 1. ed. Brasília: 1995 (a).
- _____. Exército. **C 24-16: documentos de comunicações**. 1. ed. Brasília: 1995 (b).
- _____. Exército. **C 24-21: emprego das comunicações multicanais**. 1. ed. Brasília: 1978.
- _____. Exército. **C 105-1: simulação de combate**. 1. ed. Brasília: 2006.
- _____. Exército. **EB10-P-01.007: Plano Estratégico do Exército 2020-2023**. Brasília: 2019.
- _____. Exército. **EB20-MC-10.205: comando e controle**. 1. ed. Brasília: 2015.
- _____. Exército. **EB60-ME-12.303: planejamento de comunicações e guerra eletrônica**. 1. ed. Brasília: 2020 (a).
- _____. Exército. **EB70-CI-11-410: exercícios de simulação construtiva**. 1. ed. Brasília: 2017.
- _____. Exército. **EB70-MC-10.211: processo de planejamento e condução das operações terrestres (PPCOT)**. 2. Ed. Brasília: 2020 (b).
- _____. Exército. **EB70-MC-10.241: as comunicações na Força Terrestre**. 1. ed. Brasília: 2018.
- _____. Exército. **EB70-MC-10.243: divisão de exército**. 3. ed. Brasília: 2020 (c).
- _____. Exército. **EB70-MC-10.246: as comunicações nas operações**. 1. Ed. Brasília: 2020 (d).
- _____. Exército. **Nota Doutrinária nº 4/2021: Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre**. Brasília: 2021.
- _____. Ministério da Defesa. **MD30-M-01: doutrina de operações conjuntas**. 1º volume. 1ª ed. Brasília: 2011.
- CAFFREY JR, Matthew B. **On wargaming: how wargames have shaped history and how they may shape the future**. Naval War College Press. 1. ed. 446 p. Newport: 2019.
- CAYIRCI, Erdal; ERSOY, Cem. **Simulation of tactical communications systems by inferring detailed data from the Joint Theater level computer aided exercises**. Disponível em <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0037549702078008001>. [S. l.], 2001.

CUNHA, André Luiz Nobre. **O emprego do sistema de simulação construtiva como ferramenta de apoio à decisão: uma proposta ao Exército Brasileiro.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Militares). 311 p. Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro: 2011.

FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (EUA). **2015 broadband progress report and notice of inquiry on immediate action to accelerate deployment.** Disponível em <https://www.fcc.gov/reports-research/reports/broadband-progress-reports/2015-broadband-progress-report>. Ed. Fev. [S.I.], 2015.

FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (EUA). **Broadband speed guide.** Disponível em <https://www.fcc.gov/consumers/guides/broadband-speed-guide>. Washington: 2020.

GREENBERG, Abe. An outline of wargaming. **Naval War College Review.** Edição set-out., Newport: 1981.

HILL, Raymond R.; MILLER, J. O. A history of United States military simulation. **Department of Operational Sciences of the Air Force Institute of Technology.** P. 346-364. Dayton: 2017.

JOE, Leland; PORCHE III, Isaac. **Future Army bandwidth needs.** Disponível em <https://www.rand.org/pubs/monographs/MG156.html>. 105 p. RAND Corporation, Santa Monica: 2004.

MENEGAZ, Guilherme Machado. A simulação construtiva no Exército Brasileiro. **Doutrina Militar Terrestre em Revista.** Edição jul-set. p. 32-41. Brasília: 2020.

PAULA, Marcello Mamede Corrêa de. **benefícios do emprego do software *Radio Mobile* no planejamento do apoio de comunicações.** *Revista O Comunicante.* Escola de Comunicações. Vol. 110. Nº 1. Ago. p. 25-32. Escola de Comunicações. Brasília: 2020.

PERLA, Peter. **The art of wargaming: a guide for professionals and hobbyists.** United States Naval Institute Press, Annapolis: 2012.

REHMUS, Paul; et al. **The Army's bandwidth bottleneck.** Congressional Budget Office (EUA). [S.I.]. 2003.

ROCHA, Sérgio Martins. **Simulação de combate construtiva como ferramenta de apoio à decisão: a especialização de recursos humanos e a criação do centro de Simulação do Exército.** Dissertação (Mestrado em Ciências Militares). 170 p. Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro; 2011.

SANTOS, Renan Alves dos. **Modelagem dos parâmetros básicos dos sistemas de enlace de comunicações estabelecidos por uma companhia de comunicações de brigada em simulação apoiada na carta.** Trabalho de Conclusão de Curso (especialização em Ciências Militares). Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais. Rio de Janeiro: 2018. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/1/2636>. Acessado em 13 de abril de 2023.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Política Pública de Banda Larga.** Disponível em https://portal.tcu.gov.br/data/files/F0/E1/D9/94/04A1F6107AD96FE6F18818A8/Politica_publica_banda_larga.pdf. Brasília: 2018.