

# Doutrina de comunicações militares

Este livro fornece uma análise abrangente e sistemática das comunicações militares como elemento central do comando, controlo e eficácia operacional das forças armadas modernas. Analisa os princípios, a organização, o planeamento, a segurança, a resiliência e a interoperabilidade dos sistemas de comunicações militares em situações de paz, crise e conflito. A obra integra fundamentos teóricos com perspectivas operacionais, abordando arquitecturas de comunicação, nós e redes, métodos de transmissão, funções do pessoal e tendências futuras. Além disso, o autor propõe quadros de comunicação e interoperabilidade originais e inovadores, contribuindo com novas abordagens ao nível do sistema para comunicações militares seguras, resilientes e integradas no contexto das tecnologias digitais contemporâneas. Escrito para o público académico e profissional, o livro apresenta as comunicações militares como uma capacidade operacional decisiva, essencial para um comando e controlo eficazes e para o sucesso da missão.



**Rexhep Mustafovski**, MSc, é um oficial de sinalização e investigador académico no domínio das comunicações militares. Obteve o seu bacharelato na Academia Militar "General Mihailo Apostolski" em Skopje e possui um mestrado em Comunicações e Tecnologias da Informação pela Universidade "Ss. Cyril and Methodius" - Skopje.



9 786209 532436



EDIÇÕES  
NOSSO CONHECIMENTO

Doutrina de comunicações militares

Rexhep Mustafovski



EDIÇÕES  
NOSSO CONHECIMENTO



# Doutrina de comunicações militares

*Um Guia Sistemático para Comando, Controlo e Comunicações nas Forças Armadas Modernas*

**Rexhep Mustafovski**

**Rexhep Mustafovski**

**Doutrina de comunicações militares**

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**Rexhep Mustafovski**

# **Doutrina de comunicações militares**

**Um Guia Sistemático para Comando, Controlo e  
Comunicações nas Forças Armadas Modernas**

FOR AUTHOR USE ONLY

**ScienciaScripts**

## **Imprint**

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

This book is a translation from the original published under ISBN 978-620-9-23709-6.

Publisher:

Scienza Scriptis

is a trademark of

Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

120 High Road, East Finchley, London, N2 9ED, United Kingdom

Str. Armeneasca 28/1, office 1, Chisinau MD-2012, Republic of Moldova, Europe

Managing Directors: Ieva Konstantinova, Victoria Ursu  
[info@omniscryptum.com](mailto:info@omniscryptum.com)

Printed at: see last page

**ISBN: 978-620-9-53243-6**

Copyright © Rexhep Mustafovski

Copyright © 2026 Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

FOR AUTHOR USE ONLY

## **Doutrina de Comunicações Militares**

*Um guia sistemático para comando, controlo e comunicações nas forças armadas modernas*

FOR AUTHOR USE ONLY

## Índice

Prefácio.....	3
Introdução.....	5
Capítulo 1: Fundamentos das comunicações militares.....	7
Capítulo 2: Comando, controlo e fluxo de informações.....	24
Capítulo 3: Princípios das comunicações militares.....	39
Capítulo 4: Organização dos sistemas de comunicações militares.....	64
Capítulo 5: : Planeamento das comunicações em operações militares....	81
Capítulo 6: : Nós, Centros e Redes de Comunicação.....	99
Capítulo 7: : Meios de comunicação e métodos de transmissão.....	116
Capítulo 8: Funções e responsabilidades do pessoal.....	129
Capítulo 9: : Símbolos operacionais e notação de comunicações.....	142
Capítulo 10: Medidas de segurança e proteção das comunicações.....	152
Capítulo 11: : Continuidade e resiliência das comunicações.....	163
Capítulo 12: : Tendências futuras nas comunicações militares.....	176
Conclusão.....	196
Referências.....	200

## Prefácio

Sou **Rexhep Mustafovski, Mestre em Ciências**, e este livro representa a continuação do meu envolvimento acadêmico, profissional e de investigação no campo dos sistemas modernos de comunicações militares. O meu trabalho centra-se no papel das comunicações como um facilitador crítico do comando e controlo, com especial atenção às arquiteturas de comunicação seguras, resilientes e interoperáveis para aplicações orientadas para a defesa. A motivação para escrever este livro surge tanto da minha investigação académica como do meu envolvimento profissional na educação militar, onde a importância prática de estruturas de comunicação disciplinadas é consistentemente evidente.

O objetivo deste livro é fornecer uma análise abrangente e estruturada das comunicações militares como uma capacidade operacional, em vez de uma função puramente técnica. Nas operações militares modernas, as comunicações são inseparáveis da autoridade de comando, da tomada de decisões e da eficácia operacional. A capacidade de trocar informações de forma segura, fiável e oportuna influencia diretamente a coordenação das forças, a execução de missões e a proteção de pessoal e ativos. Este livro pretende apresentar estas realidades através de uma análise sistemática dos princípios de comunicação, estruturas organizacionais, processos de planeamento, medidas de segurança e tendências emergentes.

Ao longo dos meus estudos académicos e atividades de investigação, observei uma lacuna recorrente entre as tecnologias de comunicação em rápido avanço e a sua integração coerente nas estruturas de comando militar. Embora muitas publicações abordem tecnologias individuais ou soluções técnicas isoladas, poucos trabalhos apresentam as comunicações militares como sistemas integrados moldados pela doutrina, organização, procedimentos e fatores humanos. Este livro procura colmatar essa lacuna, oferecendo uma perspetiva holística sobre as comunicações militares, enfatizando o pensamento ao nível do sistema e a relevância operacional.

A importância das comunicações no comando militar é um tema central deste trabalho. O comando e controlo dependem fundamentalmente da disponibilidade e integridade dos canais de comunicação. Nas operações contemporâneas caracterizadas pela dispersão, elevado ritmo operacional, cooperação multinacional e ambientes contestados, estruturas de comunicação disciplinadas são essenciais para manter a unidade de esforços. Este livro destaca as comunicações como um fator operacional decisivo que permite aos comandantes compreender a situação, emitir diretivas oportunas e coordenar ações em vários domínios e níveis de comando.

O âmbito do livro abrange conceitos fundamentais de comunicações militares,

princípios de organização de sistemas, planeamento de comunicações, nós e redes, métodos de transmissão, funções do pessoal, medidas de segurança e proteção, continuidade e resiliência, e tendências futuras. A análise é realizada a nível conceptual e arquitetónico, permitindo que os princípios discutidos permaneçam aplicáveis em diferentes estruturas de força e implementações tecnológicas. Embora os aspetos técnicos sejam abordados quando necessário, o livro não tem como objetivo fornecer projetos específicos de fornecedores, procedimentos classificados ou engenharia detalhada ao nível do protocolo.

Certas limitações são inerentes a esta abordagem. O livro não aborda doutrinas específicas de cada país ou sistemas classificados, nem tenta cobrir todas as tecnologias emergentes em profundidade. Em vez disso, concentra-se em princípios e estruturas duradouras que apoiam a compreensão e a tomada de decisões informadas. A natureza em rápida evolução das comunicações militares significa que tecnologias específicas continuarão a mudar; no entanto, os fundamentos estruturais e conceptuais apresentados neste trabalho pretendem permanecer relevantes.

O público-alvo deste livro inclui estudantes de graduação e pós-graduação em engenharia de comunicações, cibersegurança, estudos de defesa e áreas relacionadas, bem como investigadores e profissionais militares envolvidos no planeamento de comunicações, desenvolvimento de sistemas, educação e comando operacional. O livro foi escrito para apoiar tanto o estudo académico como a aplicação profissional, oferecendo profundidade analítica e mantendo a relevância prática.

Por fim, este livro reflete uma jornada académica e profissional contínua. Baseia-se na minha investigação anterior e trabalhos publicados, ao mesmo tempo que contribui com perspetivas originais e modelos conceptuais desenvolvidos através do estudo e da prática contínuos. As comunicações militares continuam a ser um campo dinâmico e em evolução, moldado pela inovação tecnológica e pela experiência operacional. Espero que este livro contribua para uma compreensão mais profunda dos sistemas de comunicação militar e incentive mais investigação, discussão e inovação neste domínio crítico.

## Introdução

As comunicações militares sempre foram um facilitador fundamental do comando, coordenação e controlo. Desde as primeiras formas de forças armadas organizadas até às operações multidomínio contemporâneas, a capacidade de transmitir informações com precisão, segurança e em tempo útil moldou a conduta e o resultado das atividades militares. Nos ambientes operacionais modernos, as comunicações já não são uma função técnica de apoio, mas uma capacidade operacional decisiva que influencia diretamente a eficácia, a resiliência e o sucesso.

A crescente complexidade das operações militares alterou fundamentalmente o papel das comunicações. As forças armadas contemporâneas operam nos domínios terrestre, aéreo, marítimo, cibernético e espacial, muitas vezes simultaneamente e em coordenação com parceiros multinacionais. As forças estão geograficamente dispersas, os ritmos operacionais são elevados e os ciclos de tomada de decisão são comprimidos. Nestas condições, os sistemas de comunicação devem apoiar o fluxo contínuo de informações, a consciência situacional partilhada e a ação coordenada em todos os níveis de comando. Qualquer interrupção, atraso ou distorção da comunicação pode ter consequências imediatas e de longo alcance.

Este livro aborda as comunicações militares como um sistema integrado composto por infraestrutura técnica, estruturas organizacionais, disciplina processual e pessoal treinado. Ele enfatiza que comunicações eficazes não podem ser alcançadas apenas por meio da tecnologia. Em vez disso, elas exigem planeamento coerente, execução disciplinada e adaptação contínua a ambientes operacionais em constante mudança. Ao examinar as comunicações de forma holística, o livro visa fornecer uma compreensão abrangente de como os sistemas de comunicação permitem o comando e controle e apoiam as operações militares em tempos de paz, crise e conflito.

A obra começa por estabelecer os conceitos fundamentais das comunicações militares e o seu papel no comando e controlo. Examina as comunicações como uma função de apoio ao combate e destaca a sua importância em todo o espectro de operações. Com base nesta fundação, o livro explora o fluxo de informação dentro das unidades militares, as ligações de comunicação verticais e horizontais e as formas como as comunicações apoiam a tomada de decisões em diferentes níveis de comando. Estes capítulos demonstram como as estruturas de comunicação moldam a coerência e a eficácia operacionais.

Os capítulos subsequentes concentram-se nos princípios que sustentam as comunicações militares eficazes, incluindo simplicidade, flexibilidade, economia de recursos, universalidade, fiabilidade, continuidade, capacidade, qualidade e segurança. Estes princípios são examinados não como ideais abstratos, mas como

diretrizes práticas que informam a concepção, organização e utilização do sistema. A organização dos sistemas de comunicação militar é então analisada, com atenção à arquitetura do sistema, componentes fixos e móveis, disposições centralizadas e descentralizadas e elementos de redundância e reserva.

O livro aborda ainda o planejamento das comunicações como uma atividade operacional crítica. Examina os fatores que influenciam o planejamento das comunicações, incluindo tempo, terreno, pessoal, equipamento, incerteza e pressão operacional. Ao enfatizar o planejamento como um processo contínuo e adaptativo, o livro destaca a importância da preparação e da previsão na manutenção de comunicações eficazes em condições dinâmicas.

Capítulos dedicados são devotados a nós de comunicação, centros, redes e métodos de transmissão, fornecendo uma visão sobre as estruturas físicas e lógicas que permitem o fluxo de informações. As funções e responsabilidades do pessoal de comunicação e dos utilizadores do sistema são examinadas para enfatizar a dimensão humana das comunicações, enquanto símbolos e notações operacionais são apresentados como ferramentas essenciais para o entendimento e a coordenação compartilhados.

Segurança, continuidade e resiliência são tratadas como preocupações centrais ao longo do livro. Medidas de segurança de comunicação, proteção contra ameaças eletrônicas, redundância, sistemas de fallback e operação em ambientes degradados são analisados em detalhes. Esses tópicos refletem a realidade de que as comunicações militares modernas devem funcionar sob ameaças e interrupções persistentes, exigindo um design robusto e procedimentos disciplinados.

Por fim, o livro considera as tendências futuras nas comunicações militares, incluindo transformação digital, sistemas integrados de comunicação e informação, interoperabilidade multinacional e desafios e oportunidades emergentes. Ao abordar tanto a prática atual quanto os desenvolvimentos futuros, o livro busca unir teoria e aplicação, oferecendo perspectivas relevantes tanto para profissionais quanto para acadêmicos.

O objetivo deste livro é fornecer uma análise estruturada, abrangente e operacionalmente fundamentada das comunicações militares. Destina-se a profissionais militares, estudantes, investigadores e decisores políticos que procuram compreender como os sistemas de comunicação apoiam o comando e controlo e influenciam os resultados operacionais. Ao apresentar as comunicações como um fator operacional decisivo, o livro visa contribuir para o desenvolvimento de capacidades de comunicação disciplinadas, resilientes e eficazes, adequadas às exigências das operações militares modernas e futuras.

## Conclusão

Este livro examinou as comunicações militares como um elemento fundamental e decisivo das operações militares modernas. Ao longo dos seus capítulos, demonstrou que a comunicação não é apenas uma função de suporte técnico, mas uma capacidade operacional central que permite o comando, a coordenação, a tomada de decisões e o emprego eficaz das forças. Desde conceitos fundamentais até tendências futuras, a análise mostrou que o sucesso ou o fracasso das operações militares está intimamente ligado à qualidade, fiabilidade e disciplina dos sistemas e práticas de comunicação.

No nível mais fundamental, as comunicações militares fornecem os meios pelos quais a intenção do comando é transmitida, a consciência situacional é desenvolvida e a ação coordenada é alcançada. Sem comunicações eficazes, as estruturas de comando e controlo não podem funcionar, os planos operacionais não podem ser executados de forma coerente e as forças são reduzidas a elementos isolados que agem sem sincronização. Este livro enfatizou que a comunicação deve, portanto, ser entendida como um componente integral do comando e controlo, incorporado em todas as fases de planeamento, execução e avaliação.

Um princípio fundamental destacado ao longo do livro é a necessidade de clareza e simplicidade nas comunicações militares. Os sistemas e procedimentos de comunicação devem ser concebidos para transmitir informações essenciais com precisão e sem ambiguidade, mesmo sob stress e pressão de tempo. Sistemas excessivamente complexos, fluxos de informação excessivos ou procedimentos pouco claros aumentam o risco de mal-entendidos e atrasos. Simplicidade, no entanto, não implica rigidez. Arquiteturas de comunicação eficazes devem equilibrar clareza com flexibilidade, permitindo a adaptação a condições operacionais em mudança, preservando uma estrutura e hierarquia claras.

Outro princípio central é a fiabilidade e a continuidade. As comunicações militares devem funcionar de forma consistente em tempos de paz, crise e conflito, e devem permanecer operacionais mesmo em ambientes degradados ou contestados. O livro mostrou que este requisito não pode ser atendido apenas por sistemas ou tecnologias isolados. Em vez disso, exige arquiteturas em camadas, redundância, elementos de comunicação de reserva e soluções alternativas que garantam a continuidade quando os sistemas primários falham ou são interrompidos. A confiabilidade não é apenas um atributo técnico, mas também organizacional e procedural, dependente de treinamento, disciplina e preparação.

A organização dos sistemas de comunicação militar foi examinada como um fator crítico que influencia a eficácia operacional. As estruturas centralizadas oferecem controlo, padronização e gestão eficiente, enquanto os arranjos descentralizados

proporcionam flexibilidade, resiliência e capacidade de resposta em níveis mais baixos. O livro demonstrou que as operações militares modernas exigem uma abordagem e a equilibrada, combinando supervisão centralizada com execução descentralizada. Esses modelos organizacionais híbridos permitem que os comandantes mantenham a unidade de esforços, ao mesmo tempo que capacitam as unidades subordinadas a operar de forma eficaz em ambientes dinâmicos e incertos.

O planejamento da comunicação foi identificado como uma atividade decisiva que molda o sucesso das operações antes mesmo de elas começarem. Um planejamento eficaz requer uma compreensão abrangente dos objetivos da missão, do contexto operacional, do terreno, das restrições de tempo, das capacidades do pessoal e do equipamento disponível. Deve levar em conta a incerteza, antecipar interrupções e integrar segurança e redundância desde o início. O planejamento da comunicação não é uma atividade única, mas um processo contínuo que evolui junto com a operação, respondendo às mudanças no ambiente e às ações do adversário.

O livro também explorou os componentes físicos e lógicos dos sistemas de comunicação militar, incluindo estações, centros, nós, hubs e topologias de rede. Esses elementos formam a infraestrutura através da qual as informações fluem, ligando os tomadores de decisão estratégicos aos quartéis-generais operacionais e às unidades táticas. A escolha da topologia da rede — seja linear, roteada ou em malha — tem demonstrado afetar significativamente a resiliência, a capacidade e a capacidade de resposta. Compreender essas estruturas é essencial para projetar sistemas de comunicação que suportem tanto a eficiência quanto a capacidade de sobrevivência.

As funções e responsabilidades do pessoal têm sido enfatizadas como uma dimensão humana decisiva das comunicações militares. Mesmo os sistemas mais avançados dependem de operadores treinados, utilizadores informados e liderança de comando disciplinada. A definição clara de responsabilidades em diferentes níveis de comando, juntamente com treinamento rigoroso e prontidão operacional, garante que os sistemas de comunicação sejam empregados de forma eficaz e segura. O elemento humano continua sendo central, especialmente em situações em que julgamento, experiência e adaptabilidade são necessários para superar limitações técnicas ou interrupções inesperadas.

Símbolos operacionais, notação e representações padronizadas têm sido apresentados como ferramentas vitais para permitir o entendimento comum e a coordenação. Símbolos e diagramas comuns permitem que informações operacionais complexas sejam comunicadas de forma rápida e precisa entre unidades e níveis de comando. O seu uso consistente apoia o planejamento, a execução e a avaliação, particularmente em ambientes multinacionais ou conjuntos,

onde diferenças linguísticas e doutrinárias podem, de outra forma, dificultar a comunicação.

As medidas de segurança e proteção têm sido abordadas como inseparáveis da eficácia da comunicação. A proteção física, as salvaguardas técnicas e os procedimentos organizacionais formam, em conjunto, uma abordagem abrangente para uma segurança de comunicação e e. Numa era de guerra eletrônica, ameaças cibernéticas e operações de informação, proteger os sistemas de comunicação é essencial não só para salvaguardar a informação, mas também para preservar a liberdade de ação operacional. A segurança deve ser integrada na concepção do sistema, no planejamento e na prática diária, em vez de ser tratada como uma reflexão tardia.

A continuidade e a resiliência surgiram como requisitos definidores das comunicações militares modernas. As operações ocorrem cada vez mais em ambientes onde a interrupção é esperada, em vez de excepcional. A capacidade de manter a comunicação em condições adversas depende da redundância, adaptabilidade e procedimentos de contingência disciplinados. Os sistemas de comunicação resilientes permitem que as forças absorvam interrupções, recuperem a funcionalidade e continuem a operar eficazmente, apesar da perda ou degradação de componentes individuais.

Olhando para o futuro, o livro destacou os desafios e as oportunidades associados às tecnologias emergentes e aos conceitos operacionais. A transformação digital, a integração de sistemas e a interoperabilidade multinacional oferecem um potencial significativo para melhorar a eficácia das comunicações. Ao mesmo tempo, introduzem novas complexidades e vulnerabilidades que devem ser cuidadosamente geridas. Os futuros sistemas de comunicações militares devem ser concebidos com a adaptabilidade, a interoperabilidade e a supervisão humana como princípios fundamentais, garantindo que a inovação tecnológica sirva as necessidades operacionais, em vez de as impulsionar acriticamente.

Um tema recorrente ao longo deste trabalho é a importância de estruturas de comunicação disciplinadas. A disciplina nas comunicações abrange a adesão aos procedimentos, o respeito pelas relações de comando, o uso adequado dos sistemas e o treinamento consistente. A comunicação disciplinada garante que as informações fluam de forma eficiente, segura e de acordo com a intenção do comando. Ela reduz a confusão, evita a sobrecarga e reforça a confiança dentro e entre as unidades. Sem essa disciplina, mesmo sistemas bem projetados podem se tornar fontes de atrito, em vez de facilitadores do sucesso.

Em última análise, este livro argumentou que as comunicações constituem um fator operacional decisivo nas operações militares modernas. Elas moldam a capacidade

dos comandantes de compreender a situação, tomar decisões oportunas e dirigir as forças de forma eficaz. Capacidades de comunicação superiores podem compensar desvantagens numéricas ou materiais, enquanto comunicações inadequadas podem minar até mesmo forças com bons recursos. Nesse sentido, as comunicações não são meramente de apoio, mas muitas vezes decisivas na determinação dos resultados operacionais.

Em conclusão, as comunicações militares devem ser abordadas como um sistema integrado de tecnologia, organização, procedimentos e pessoas. A sua eficácia depende de um design coerente, implementação disciplinada e adaptação contínua às realidades operacionais em evolução. Ao compreender e aplicar os princípios descritos neste livro, os profissionais militares podem fortalecer as bases de comunicação das quais dependem, em última análise, o comando e controlo, a coordenação e o cumprimento da missão bem-sucedidos.

FOR AUTHOR USE ONLY

## Referências

1. Bergen, John D., «Military Communications: A Test for Technology», Centro de História Militar, Exército dos Estados Unidos, Washington, DC, 1986, ISBN 0-16-001623-1.
2. Ryan, Michael J. e Frater, Michael R., «Tactical Communications for the Digitized Battlefield» (Comunicações Táticas para o Campo de Batalha Digitalizado), Artech House Publishers, Boston, MA, 2002, ISBN 1-58053-323-X.
3. Sterling, Christopher H., «Comunicações militares: da antiguidade ao século XXI», ABC-CLIO, Santa Barbara, CA, 2008, ISBN 978-1-85109-732-6.
4. Alberts, David S., Garstka, John J. e Stein, Frederick P., "Guerra Centrada em Redes: Desenvolvendo e Aproveitando a Superioridade da Informação", 2ª edição, Série de Publicações CCRP, Washington, DC, 2000, ISBN 1-893723-01-0.
5. Friedman, Norman, «Guerra Centrada em Redes: Como as Marinhas Aprenderam a Lutar de Forma Mais Inteligente ao Longo de Três Guerras Mundiais», Naval Institute Press, Annapolis, MD, 2009, ISBN 978-159114-286-6.
6. Mitchell, Paul T., "Guerra Centrada em Redes e Operações de Coalizão: O Novo Sistema Operacional Militar", Routledge, Londres, Reino Unido, 2009, ISBN 978-0-415-44645-7.
7. Hall, Brian N., «Comunicações e operações britânicas na frente ocidental, 1914-1918», Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2017, ISBN 978-1-107-19530-8.
8. Schiller, Jochen H., «Mobile Communications», 2.ª edição, Addison-Wesley, Londres, Reino Unido, 2003, ISBN 0-321-12381-6.
9. Rappaport, Theodore S., "Wireless Communications: Principles and Practice" (Comunicações sem fios: princípios e prática), 2.ª edição atualizada, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2024, ISBN 978-1-009-48983-6.
10. Schwartz, Mischa, "Transmissão de Informação, Modulação e Ruído: Uma Abordagem Unificada aos Sistemas de Comunicação", 4ª edição, McGraw-Hill, Nova Iorque, NY, 1990, ISBN 0-07-055909-7.
11. Proakis, John G. e Salehi, Masoud, "Comunicações Digitais", 5ª edição, McGrawHill Education, Nova Iorque, NY, 2007, ISBN 978-0-07-295716-7.
12. Haykin, Simon e Moher, Michael, «Communication Systems», 5.ª edição, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2009, ISBN 978-0-470-16982-1.
13. Goldsmith, Andrea, "Wireless Communications" (Comunicações sem fios), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2005, ISBN 0-521-83716-

2.

14. Sklar, Bernard, «Comunicações Digitais: Fundamentos e Aplicações», 2.<sup>a</sup> edição, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001, ISBN 0-13-095007-6.

15. Leon-Garcia, Alberto e Widjaja, Indra, "Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures" (Redes de comunicação: conceitos fundamentais e arquiteturas-chave), 2.<sup>a</sup> edição, McGraw-Hill, Nova Iorque, NY, 2000, ISBN 0-072-42349-8.

16. Forouzan, Behrouz A., «Comunicações de dados e redes», 4.<sup>a</sup> edição, McGrawHill, Nova Iorque, NY, 2006, ISBN 0-07-322047-9.

17. Penttinen, Jyrki T. J. (Editor), "The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems" (Manual de telecomunicações: diretrizes de engenharia para sistemas fixos, móveis e de satélite), John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2015, ISBN 978-1-118-67891-6.

18. Biglieri, E., Calderbank, R., Constantinides, A., Goldsmith, A., Paulraj, A., e Shor, H. V. (Editores), "MIMO Wireless Communications," Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2007, ISBN 978-0-521-82953-8.

19. Clausewitz, Carl von (traduzido por Howard, Michael e Paret, Peter), "On War," Princeton University Press, Princeton, NJ, 1984, ISBN 0-691-05657-5.

20. Owens, William A., «The Emerging System of Systems» (O Sistema Emergente de Sistemas), Instituto de Estudos de Segurança Nacional, Washington, DC, 1996.

21. Libicki, Martin C., «Cyberdeterrence and Cyberwar» (Dissuasão cibernética e guerra cibernética), RAND Corporation, Santa Monica, CA, 2009, ISBN 978-0-8330-4734-2.

22. Singer, P. W. e Friedman, Allan, «Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know» (Cibersegurança e ciberguerra: o que todos precisam de saber), Oxford University Press, Oxford, Reino Unido, 2014, ISBN 978-0-19-991809-6.

23. Payne, Kenneth, «Estratégia, evolução e guerra: dos macacos à inteligência artificial», Georgetown University Press, Washington, DC, 2018, ISBN 978-1-62616-636-9.

24. Farwell, James P., Persuasão e poder: a arte da comunicação estratégica, Georgetown University Press, Washington, DC, 2012, ISBN 978-1-58901-918-0.

25. Cornish, Paul, Lindley-French, Julian e Yorke, Claire, «Comunicação Estratégica e Estratégia Nacional», Relatório da Chatham House, Londres, Reino Unido, 2011.

26. Paul, Christopher, «Comunicação Estratégica: Origens, Conceitos e Debates Atuais», Praeger Security International, Santa Barbara, CA, 2011, ISBN 978-0-313-38703-5.
27. Betz, David e Stevens, Tim, «Cyberspace and the State: Toward a Policy Architecture» (O ciberespaço e o Estado: rumo a uma arquitetura política), Routledge, Londres, Reino Unido, 2011, ISBN 978-0-415-56841-8.
28. Baird, Peter e Eckert, Richard E., «Comunicações por satélite para cobertura global e mobilidade», Artech House, Boston, MA, 2006, ISBN 1-58053-965-2.
29. Elbert, Bruce R., "Introduction to Satellite Communication" (Introdução à comunicação por satélite), Artech House, Boston, MA, 2008, ISBN 978-1-59693-098-1.
30. Tse, David e Viswanath, Pramod, «Fundamentos da Comunicação Sem Fios», Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2005, ISBN 978-0-521-84674-4.
31. Berlekamp, Elwyn R., «Teoria da Codificação Algébrica», McGraw-Hill, Nova Iorque, NY, 1968, ISBN 0-07-004489-6.
32. Forney, G. David Jr., "Concatenated Codes" (Códigos concatenados), MIT Press, Cambridge, MA, 1966, ISBN 0262-56069-3.
33. Cover, Thomas M. e Thomas, Joy A., "Elements of Information Theory" (Elementos da Teoria da Informação), 2.<sup>a</sup> edição, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2006, ISBN 978-0-471-24195-9.
34. Viterbi, Andrew J., "CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication," Addison-Wesley, Reading, MA, 1995, ISBN 0-201-63374-4.
35. Jain, Raj, "The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling" (A arte da análise de desempenho de sistemas informáticos: técnicas para projeto experimental, medição, simulação e modelagem), John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 1991, ISBN 0-471-50336-X.
36. Shannon, Claude E. e Weaver, Warren, «The Mathematical Theory of Communication» (A Teoria Matemática da Comunicação), University of Illinois Press, Urbana, IL, 1949, ISBN 0-252-72548-4.
37. Molnar, Andrew K., "Operações psicológicas e guerra política na competição estratégica de longo prazo", RAND Corporation, Santa Monica, CA, 2016.
38. Marakas, George M., "Decision Support Systems in the 21st Century" (Sistemas de apoio à decisão no século XXI), Prentice-Hall, Upper Saddle River,

NJ, 2007, ISBN 0-13-009240-3.

39. Murthy, C. S. R. e Gupta, B. S., "Redes Óticas WDM: Conceitos, Design e Algoritmos", Prentice-Hall of India, Nova Deli, Índia, 2002, ISBN 81-203-2214-4.
40. Vaidya, Nitin H., "Wireless Networks: Lecture Notes," University of Illinois at Urbana- Champaign, Urbana, IL, 2004.
41. Cebrowski, Arthur K. e Garstka, John J., «Network-Centric Warfare: Its Origin and Future» (Guerra centrada em redes: sua origem e futuro), US Naval Institute Proceedings, vol. 124, n.º 1, 1998, pp. 28- . 35.
42. Johnston, J. W., «Status da pesquisa e desenvolvimento em comunicações militares por satélite», Proceedings of the IEEE, vol. 95, n.º 10, 2007, pp. 1952-1970, DOI 10.1109/JPROC.2007.905048.
43. Polyzou, J., «Transmissão de dados para comunicações militares: parâmetros e desempenho», IEEE Communications Magazine, vol. 41, n.º 5, 2003, pp. 88-95.
44. Mannel, W., «Future Communications Concepts in Support of U.S. Army Tactical Field Forces» (Conceitos de comunicações futuras em apoio às forças táticas de campo do Exército dos EUA), IEEE Military Communications Conference (MILCOM), 1980, pp. 245-251.
45. Coviello, G., «Comunicações militares - Uma visão geral da edição especial», IEEE Communications Magazine, vol. 18, n.º 6, 1980, pp. 3-5.
46. Monzon Baeza, V. et al., «Comunicações Táticas e Redes Orientadas por IA para Sistemas de Defesa: Um Estudo Abrangente», Revista Internacional de Ciência da Engenharia e Invenção, vol. 13, n.º 12, 2024, pp. 79-87, DOI 10.35629/6734-13127987.
47. Dekker, A. H., «Network Topology and Military Performance» (Topologia de rede e desempenho militar), Proceedings of MODSIM 2005, Melbourne, Austrália, 2005, pp. 1234-1240.
48. Parkinson, Simon et al., «Evolução da gestão de informações militares: a abordagem da arquitetura empresarial», Security and Defence Quarterly, vol. 38, n.º 2, 2022, pp. 112128.
49. Shu, Zhen et al., «Método e aplicação do projeto da arquitetura do sistema de informação militar», Fundação Científica da China, vol. 26, n.º 20, 2018, DOI 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.20.008.
50. Randall, T. S., «Uma reavaliação da comunicação técnica tática», Jornal de Redação Técnica e Comunicação, vol. 52, n.º 3, 2022, pp. 289-310, DOI 10.1177/00472816211006341.

51. Waterman, R. D., «Capacidades de comando, controlo e comunicações para operações espaciais», Servidor de Relatórios Técnicos da NASA, Documento 20110005484, 2010.
52. Zhang, Y. et al., «Simulação e análise da tecnologia de rede móvel ad hoc no batalhão de infantaria do Corpo de Fuzileiros Navais dos EUA», *Military Operations Research*, vol. 18, n.º 4, 2013, pp. 19-32.
53. Retherford, D., «Comunicações e operações britânicas na Frente Ocidental, 1914-1918 (resenha de livro)», *Journal of Military and Strategic Studies*, vol. 20, n.º 2, 2021, pp. 186-190.
54. Lamy-Bergot, C. et al., «Improved Error Correction for STANAG 4539 Appendix H» (Correção de erros melhorada para o apêndice H da STANAG 4539), Atas da Conferência de Comunicações Militares do IEEE (MILCOM), 2015, pp. 1-7.
55. Dombrowski, P. e Gholz, E., «Guerra centrada em redes: como as marinhas aprenderam a lutar de forma mais inteligente (resenha do livro)», *Naval War College Review*, vol. 63, n.º 3, 2010, pp. 145-148.
56. Goldsmith, A., Jafar, S. A., Jindal, N., e Vishwanath, S., «Limites de capacidade dos canais MIMO», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 21, n.º 5, 2003, pp. 684-702, DOI 10.1109/JSAC.2003.810294.
57. Goldsmith, A. J. e Varaiya, P. P., «Capacity of Fading Channels with Channel Side Information» (Capacidade de canais com desvanecimento com informação lateral do canal), *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 43, n.º 6, 1997, pp. 1986-1992, DOI 10.1109/18.625167.
58. Cui, S., Goldsmith, A. J. e Bahai, A., «Eficiência energética das técnicas MIMO e MIMO cooperativas em redes de sensores», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 22, n.º 6, 2004, pp. 1089-1098, DOI 10.1109/JSAC.2004.830895.
59. Chung, S. T. e Goldsmith, A. J., «Graus de liberdade na modulação adaptativa: uma visão unificada», *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, n.º 9, 2001, pp. 1561-1571, DOI 10.1109/26.667076.
60. Goldsmith, A. J. e Wicker, S. B., «Desafios de design para redes sem fios ad hoc com restrições energéticas», *IEEE Wireless Communications*, vol. 9, n.º 4, 2002, pp. 8-27, DOI 10.1109/MWC.2002.1028874.
61. Hadani, R., Rakib, S., Tsatsanis, M., Monk, A., Goldsmith, A. J., Molisch, A. F., et al., «Modulação ortogonal de tempo, frequência e espaço», *IEEE Wireless*

Communications and Networking Conference (WCNC), 2017, pp. 1-6.

62. Yoo, T. e Goldsmith, A., «On the Optimality of Multiantenna Broadcast Scheduling Using Zero-Forcing Beamforming», IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 24, n.º 3, 2006, pp. 528-541, DOI 10.1109/JSAC.2005.862402.
63. Vishwanath, S., Jindal, N., e Goldsmith, A., "Dualidade, taxas alcançáveis e capacidade de taxa somada de canais de transmissão MIMO gaussianos", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 49, n.º 10, 2003, pp. 2658-2668, DOI 10.1109/TIT.2003.817422.
64. Alouini, M. S. e Goldsmith, A. J., Capacidade de canais com desvanecimento de Rayleigh sob diferentes técnicas de transmissão adaptativa e combinação de diversidade, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 48, n.º 4, 1999, pp. 1165-1181, DOI 10.1109/25.775371.
65. Goldsmith, A. J. e Chua, S. G., «Modulação codificada adaptativa para canais com desvanecimento», IEEE Transactions on Communications, vol. 46, n.º 5, 1998, pp. 595-602, DOI 10.1109/26.668783.
66. Toupmpis, S. e Goldsmith, A. J., «Capacity Regions for Wireless Ad Hoc Networks» (Regiões de capacidade para redes ad hoc sem fios), IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 2, n.º 4, 2003, pp. 736-748, DOI 10.1109/TWC.2003.814353.
67. Jindal, N., Rhee, W., Vishwanath, S., Jafar, S. A., e Goldsmith, A., «Sum Power Iterative Water-Filling for Multi-Antenna Gaussian Broadcast Channels» (Preenchimento iterativo da potência total para canais de transmissão gaussianos com múltiplas antenas), IEEE Transactions on Information Theory, vol. 51, n.º 4, 2005, pp. 1570-1580, DOI 10.1109/TIT.2005.844062.
68. Yoo, T., Jindal, N., e Goldsmith, A., Canais de ligação descendente com múltiplas antenas com feedback limitado e seleção do utilizador, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 25, n.º 7, 2007, pp. 1478-1491, DOI 10.1109/JSAC.2007.070913.
69. Yoo, T. e Goldsmith, A., «Capacidade e alocação de potência para canais MIMO com desvanecimento e erro de estimativa de canal», IEEE Transactions on Information Theory, vol. 52, n.º 5, 2006, pp. 2203-2214, DOI 10.1109/TIT.2006.873446.
70. Biglieri, E., Caire, G., e Taricco, G., «Limiting Performance of Block-Fading Channels with Multiple Antennas» (Limitação do desempenho de canais com desvanecimento em bloco com múltiplas antenas), IEEE Transactions on Information Theory, vol. 47, n.º 4, 2001, pp. 1273-1289, DOI 10.1109/18.923677.

71. Viterbi, A. J., «Limites de erro para códigos convolucionais e um algoritmo de descodificação assintoticamente ótimo», IEEE Transactions on Information Theory, vol. 13, n.º 2, 1967, pp. 260-269, DOI 10.1109/TIT.1967.1054010.
72. Gallager, R. G., «Low-Density Parity-Check Codes» (Códigos de verificação de paridade de baixa densidade), IEEE Transactions on Information Theory, vol. 8, n.º 1, 1962, pp. 21-28, DOI 10.1109/TIT.1962.1057683.
73. Hagenauer, J., Offer, E., e Papke, L., «Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes» (Decodificação iterativa de códigos binários em bloco e convolucionais), IEEE Transactions on Information Theory, vol. 42, n.º 2, 1996, pp. 429-445, DOI 10.1109/18.490542.
74. Telatar, E., «Capacidade de canais gaussianos com múltiplas antenas», European Transactions on Telecommunications, vol. 10, n.º 6, 1999, pp. 585-595.
75. Raleigh, G. G. e Cioffi, J. M., «Codificação espaço-temporal para comunicações sem fios», IEEE Transactions on Communications, vol. 46, n.º 3, 1998, pp. 357-366, DOI 10.1109/26.667076.
76. Abramson, N., «The ALOHA System: Another Alternative for Computer Communications», Proceedings of the 1970 Fall Joint Computer Conference, AFIPS Press, 1970, pp. 281-285.
77. Bahl, L. R., Cocke, J., Jelinek, F. e Raviv, J., "Decodificação ótima de códigos lineares para minimizar a taxa de erros de símbolos", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 20, n.º 2, 1974, pp. 284-287, DOI 10.1109/TIT.1974.1055186.
78. McEliece, R. J., «The Theory of Information and Coding: Student Edition», Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2002, ISBN 978-0-521-00095-2.
79. Costello, D. J. Jr., «A Survey of Coding Theory, with Applications to Information Theory», Proceedings of the International Symposium on Information Theory, 1973, pp. 23-28.
80. R. Mustafovski, A. Petrovski e M. Radovanovic, "Integrando tecnologias quânticas em sistemas militares móveis e estruturas TOC", Land Forces Academy Review, vol. XXX, n.º 3(119), 2025.
81. R. Mustafovski, "Estrutura arquitetónica baseada em fórmulas da plataforma SecuDroneComm para comunicações de veículos aéreos não tripulados", Management Science Advances, vol. 2, n.º 1, pp. 288-303, Scientific Oasis, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2025.
82. R. Mustafovski, "Avaliação do impacto operacional do SecuDroneComm:

Avaliação baseada em simulação da comunicação segura de UAV em ambientes militares”, Scientific Technical Review, vol. 75, n.º 1, pp. 11-18, 2025, doi: 10.5937/str2500002M.

83. OTAN, «Publicação Conjunta Aliada AJP-10: Doutrina Conjunta Aliada para Comunicações Estratégicas», Edição A Versão 1, Gabinete de Normalização da OTAN, Bruxelas, Bélgica, 2023.

84. OTAN, «Publicação Conjunta Aliada AJP-6: Doutrina Conjunta Aliada para Sistemas de Comunicação e Informação», Edição D Versão 1, Gabinete de Normalização da OTAN, Bruxelas, Bélgica, 2017.

85. Departamento de Defesa dos EUA, «Publicação Conjunta JP 6-0: Sistema Conjunto de Comunicações», Estado-Maior Conjunto, Washington, DC, 2015.

86. Exército dos EUA, «Manual de Campo FM 6-02: Apoio de Sinais às Operações», Departamento do Exército, Washington, DC, 2019.

87. Exército dos EUA, «Manual de Campo FM 24-18: Técnicas Táticas de Comunicações por Rádio de Canal Único», Departamento do Exército, Washington, DC, 1987.

88. Ministério da Defesa do Reino Unido, «Publicação de Doutrina Conjunta JDP 0-01: Doutrina de Defesa do Reino Unido», 6.ª edição, Centro de Desenvolvimento, Conceitos e Doutrina, Shrivenham, Reino Unido, 2022.

89. OTAN, «STANAG 4586: Interfaces Padrão do Sistema de Controlo de UAV (UCS) para Interoperabilidade de UAV da OTAN», 3.ª edição, Gabinete de Normalização da OTAN, Bruxelas, Bélgica, 2012.

90. OTAN, «STANAG 4539: Normas Técnicas para Formas de Onda de Comunicações HF sem Salto», 1.ª Edição, Gabinete de Normalização da OTAN, Bruxelas, Bélgica, 2005.

91. OTAN, «STANAG 5066: Perfil para comunicação de dados por rádio de alta frequência (HF)», Edição 1, Gabinete de Normalização da OTAN, Bruxelas, Bélgica, 2010.

92. Força Aérea dos EUA, «Publicação da Doutrina da Força Aérea AFDP 3-85: Operações do Espectro Eletromagnético», Departamento da Força Aérea, Washington, DC, 2023.

93. Departamento de Defesa dos EUA, «CJCSM 3320.01D: Operações Conjuntas de Gestão do Espectro Eletromagnético», Estado-Maior Conjunto, Washington, DC, 2022.

94. OTAN, «Publicação Conjunta Aliada AJP-10.3: Doutrina Conjunta Aliada para Assuntos Públicos Militares», Edição A Versão 1, Gabinete de Normalização

da OTAN, Bruxelas, Bélgica, 2024.

95. Centro de Excelência em Comunicações Estratégicas da OTAN, «Defence Strategic Communications Journal», Volumes 1-12, Riga, Letónia, 2016-2023.

96. Exército dos EUA, «Manual de Campo FM 3-0: Operações», Departamento do Exército, Washington, DC, 2017.

97. Exército dos EUA, «Publicação da Doutrina do Exército ADP 6-0: Comando de Missão», Departamento do Exército, Washington, DC, 2019.

98. Exército dos EUA, «Publicação de Técnicas do Exército ATP 6-02.40: Técnicas para Operações de Informação Visual», Departamento do Exército, Washington, DC, 2019.

99. OTAN, «ATP 6-02.10 (OTAN): Comunicação em Operações», Gabinete de Normalização da OTAN, Bruxelas, Bélgica, 2008.

100. Exército dos EUA, «Manual de Campo FM 11-22: Operações de Sinalização no Corpo e no Exército», Departamento do Exército, Washington, DC, 1945.

101. OTAN, «Política de Comunicações Estratégicas da OTAN PO(2009)0141», Conselho do Atlântico Norte, Bruxelas, Bélgica, 2009.

102. Estado-Maior Conjunto dos EUA, «Publicação Conjunta JP 3-13: Operações de Informação», Departamento de Defesa, Washington, DC, 2023.

### Biografia de Rexhep Mustafovski, MSc



**Rexhep Mustafovski, MSc**, é oficial do Ministério da Defesa da República da Macedónia do Norte e assistente de ensino e investigação na Academia Militar «General Mihailo Apostolski» em Skopje, onde trabalha no Departamento de Cibersegurança e Perícia Digital. É especialista em sistemas de comunicação seguros, cibersegurança e integração de tecnologia de defesa, com experiência académica e profissional que abrange comunicações táticas seguras, segurança de redes e sistemas de informação emergentes.

Concluiu a sua formação de licenciatura na Academia Militar «General Mihailo Apostolski» em Skopje, onde se formou como Oficial de Comunicações. Durante os seus estudos, demonstrou um desempenho académico e uma disciplina profissional excecionais, alcançando o maior sucesso educativo da sua geração. Em reconhecimento a esta conquista, foi oficialmente premiado como o melhor oficial da sua geração, uma honra conferida pelo Presidente do país. Esta distinção reflete tanto a sua excelência académica como o seu compromisso com o profissionalismo militar.

Após a sua nomeação, continuou o seu desenvolvimento académico, prosseguindo estudos de pós-graduação na Faculdade de Engenharia Elétrica e Tecnologias da Informação da Universidade «Ss. Cyril and Methodius» em Skopje. Obteve o grau de Mestre em Ciências da Comunicação e Tecnologias da Informação, com especialização em sistemas de comunicação modernos, segurança da informação e conceitos avançados de redes. Os seus estudos de mestrado reforçaram ainda mais as suas capacidades analíticas e de investigação, particularmente nas áreas das comunicações seguras e dos sistemas de defesa baseados em tecnologia.

A sua trajetória académica e profissional combina educação militar formal com estudos avançados de engenharia, proporcionando uma base sólida para a investigação e o trabalho prático em comunicações militares seguras. Esta formação influencia a sua abordagem ao design de sistemas de comunicação, enfatizando a fiabilidade, a segurança, a interoperabilidade e a relevância operacional. O conhecimento e a experiência adquiridos através da formação militar e da educação

em engenharia sustentam as perspectivas apresentadas por ao longo deste livro.

FOR AUTHOR USE ONLY