



O EMPREGO DE DRONES EM RECONHECIMENTO NUCLEAR, BIOLÓGICO,
QUÍMICO E RADIOLÓGICO (NBQR): ANÁLISE DE VIABILIDADE NO CONTEXTO
TÁTICO DO CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS

Jean Fabio Rodrigues de Carvalho

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Especialização em
Gestão de Emergências e Desastres Naturais
e Humanos, da Universidade Federal do Rio
de Janeiro.

Orientador: Prof. Claudinei de Souza
Guimarães, D.Sc.

Rio de Janeiro

2025

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mapear a viabilidade do emprego de drones, ou Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP), em missões de reconhecimento NBQR (Nuclear, Biológico, Químico e Radiológico) no contexto tático do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), à luz do crescente protagonismo das ameaças híbridas e da complexidade operacional contemporânea. Utilizando uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, foram analisadas publicações doutrinárias da Marinha do Brasil, diretrizes da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), relatórios técnicos internacionais e literatura científica sobre sensoriamento remoto em ambientes contaminados. A pesquisa abrangeu a caracterização das ameaças NBQR, o exame das capacidades do Sistema de Defesa NBQR da Marinha, o levantamento dos sensores empregados pelos Pelotões de Reconhecimento e a análise comparativa de experiências internacionais. Os resultados apontam para benefícios operacionais significativos, como a ampliação do alcance, a redução da exposição humana e a coleta ágil de dados georreferenciados, ao mesmo tempo em que identificam desafios técnicos (miniaturização de sensores e interferência aerodinâmica), doutrinários (integração com estruturas existentes e protocolos de descontaminação) e logísticos (infraestrutura de apoio e autonomia energética). A conclusão baseia-se na convergência entre essas vantagens e os modelos consolidados em doutrinas estrangeiras, demonstrando que, embora a adoção de drones no CFN dependa de ajustes normativos e investimentos estratégicos, ela é tecnicamente viável e representa uma oportunidade concreta de modernização das capacidades nacionais de resposta a eventos NBQR.

Palavras-chave: Reconhecimento NBQR. Drones. Defesa NBQR. CFN. Sensoriamento Remoto. Guerra Híbrida.

ABSTRACT

This study aims to map the feasibility of employing drones, or Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), in NBQR (Nuclear, Biological, Chemical, and Radiological) reconnaissance missions within the tactical framework of the Brazilian Marine Corps (CFN), in response to the rising prominence of hybrid threats and the operational complexity of contemporary scenarios. Adopting a qualitative, exploratory, and descriptive approach, the research analyzed doctrinal publications from the Brazilian Navy, North Atlantic Treaty Organization (NATO) guidelines, international technical reports, and scientific literature on remote sensing in contaminated environments. The investigation included the characterization of NBQR threats, assessment of the Navy's NBQR Defense System, a survey of sensors used by Reconnaissance Platoons, and a comparative analysis of international practices. The findings reveal significant operational advantages, such as increased reach, reduced human exposure, and real-time georeferenced data acquisition, while also identifying technical (sensor miniaturization and aerodynamic interference), doctrinal (system integration and decontamination protocols), and logistical (support infrastructure and energy autonomy) challenges. The conclusion is drawn from the alignment between these advantages and established foreign doctrines, demonstrating that while implementation within the CFN requires regulatory refinement and strategic investment, the integration of drones into NBQR operations is technically feasible and presents a concrete opportunity to modernize Brazil's national response capabilities to complex CBRN threats.

Keywords: NBQR Reconnaissance. Drones. CBRN Defense. Brazilian Marine Corps. Remote Sensing. Hybrid Warfare.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Responsabilidades SisDefNBQR-MB.....	22
Figura 2: Composição do GpRecNBQR.....	24
Figura 3: Classificação SARP - MB	32
Figura 4: Sistema robótico integrado com mapeamento de geometria e radiação, amostragem e análise de substâncias químicas.....	37
Figura 5: CSIRP - integração entre SARP e sensores NBQR	39
Figura 6: Gráfico Comparativo Dimensional.....	42
Figura 7: Infográfico do processo DOTMLPF.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo de Classificações dos SARP	33
Tabela 2: Comparativo de Foco Doutrinário.....	41
Tabela 3: Modelo DOTMLPF	50
Tabela 4: Sugestão de RoadMap.....	52
Tabela 5: Sugestão de Escala de Nível de Prontidão Tecnológica (TRL)	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIN	Agência Brasileira de Inteligência
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
C&T	Ciência e Tecnologia
C2	Comando e Controle
CBRN	Chemical, Biological, Radiological and Nuclear
CDC –	Centers for Disease Control and Prevention
CFN	Corpo de Fuzileiros Navais
CGCFN	Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais
CIMIC	Cooperação Civil-Militar
COE	Centre of Excellence
COMOPNAV	Comando de Operações Navais
COTS	Commercial Off-The-Shelf
CSIRP	CBRN Sensor Integration on Robotic Platform
DGMM	Diretoria-Geral do Material da Marinha
DIA	Defense Intelligence Agency
DOTMLPF	Doutrina, Organização, Treinamento, Materiais, Liderança, Pessoal e
Infraestrutura	
DTRA	Defense Threat Reduction Agency
EMA	Estado-Maior da Armada
END	Estratégia Nacional de Defesa
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPR	Equipamento de Proteção Respiratória
EPRS	European Parliamentary Research Service
EqDesconTec	Equipe de Descontaminação Técnica
EqRecNBQR	Equipe de Reconhecimento NBQR
EUA	Estados Unidos da América
GpRecNBQR	Grupo de Reconhecimento NBQR
GpOpFuzNav	Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais
IAEA	International Atomic Energy Agency
IMS	Ion Mobility Spectrometry

IMU	Inertial Measurement Unit
IND	Improvised Nuclear Device
INETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPqM	Instituto de Pesquisas da Marinha
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
JCBRN-CDG	Joint CBRN Defence Capability Development Group
JTRS	Joint Tactical Radio System
LiDAR	Light Detection and Ranging
MB	Marinha do Brasil
MD	Ministério da Defesa
MOPP	Mission Oriented Protective Posture
MOX	Metal Oxide
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NBQR	Nuclear, Biológico, Químico e Radiológico
OM	Organização Militar
OPCW	Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PCR	Polymerase Chain Reaction
PelRecNBQR	Pelotão de Reconhecimento NBQR
PESCO	Permanent Structured Cooperation
PID	Photoionization Detector
POP	Procedimento Operacional Padrão
RDD	Radiological Dispersal Device
RGB	Red, Green, Blue
SARP	Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SisDefNBQR-MB	Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da
Marinha do Brasil	
TIC	Toxic Industrial Chemical
TRADOC	Training and Doctrine Command
TRL	Technology Readiness Level
UE	União Europeia
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVO GERAL	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	13
4. METODOLOGIA	13
5. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
5.1 GUERRA HÍBRIDA E O PAPEL DA DEFESA NBQ	14
5.2 CONCEITO DE AGENTES NBQR	16
5.2.1 Agente Nuclear.....	16
5.2.2 Agente Biológico.....	16
5.2.3 Agente Químico.....	17
5.2.4 Agente Radiológico.....	17
5.3 FATOS RECENTES ENVOLVENDO AGENTES NBQR.....	18
5.4 SISTEMA DE DEFESA NBQR DA MARINHA DO BRASIL.....	19
5.4.1 Composição dos BtlProtDefNBQR no Subsistema Operacional... 	22
5.4.2 A Importância tática do PelRecNBQR.....	23
5.5 PRINCÍPIOS E FASES DA ATIVIDADE DE RECONHECIMENTO NBQR NA MB.....	26
5.6 DETECTORES E IDENTIFICADORES DE AGENTES NBQR.....	28
5.6.1 Classificação.....	28
5.6.2 Equipamentos de sensoriamento e identificação NBQR utilizados no CFN.....	29
5.6.3 Sensores com capacidade de acoplamento em Drones disponíveis no mercado.....	30
5.7 SISTEMAS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (SARP).....	31
5.7.1 Conceito, Classificações e Tipologia de SARP.....	31
5.7.2 Utilização de Drones no caráter operativo do contexto militar.....	34

5.8 DRONES NA ATIVIDADE DE RECONHECIMENTO DE AGENTES NBQR.....	36
6. ESTUDO DE CASOS DE DOCTRINAS INTERNACIONAIS.....	38
6.1 O EMPREGO DE DRONES NA DEFESA NBQR NO CONTEXTO INTERNACIONAL.....	38
6.1.1 OTAN.....	38
6.1.2 Estados Unidos.....	39
6.1.3 União Europeia.....	40
6.1.4 Ucrânia.....	40
6.2 LIÇÕES APRENDIDAS E BOAS PRÁTICAS OPERACIONAIS.....	41
6.3 AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS, MÉTODO DE EMPREGO, TREINAMENTO E INTEGRAÇÃO C2.....	41
7. FATORES FAVORÁVEIS E DESFAVORÁVEIS PARA A IMPLANTAÇÃO NA DOCTRINA DO CFN	43
7.1 VANTAGENS OFERECIDAS NO NÍVEL TÁTICO – OPERACIONAL.....	43
7.2 DESAFIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DOCTRINÁRIA.....	44
7.2.1 Desafios Técnicos.....	44
7.2.2 Desafios Doutrinários.....	45
7.2.3 Desafios Logísticos.....	46
7.3 POSSIBILIDADE DE INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA COM O SETOR COMERCIAL.....	46
8. PROPOSTA DE ELABORAÇÃO DE DIRETRIZ PARA A IMPLANTAÇÃO CONCEITUAL NA DOCTRINA.....	47
8.1 DIRETRIZ DE ESCALA DE NÍVEL DE PRONTIDÃO TECNOLÓGICA PESQUISA & DESENVOLVIMENTO.....	52
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

As operações militares contemporâneas vêm sendo cada vez mais moldadas por ameaças híbridas, caracterizadas pela convergência de instrumentos convencionais e não convencionais, tais como ações cibernéticas, terrorismo, desinformação, sabotagem e o emprego de agentes de destruição em massa. Essa nova tipologia de conflito desafia os modelos tradicionais de planejamento e resposta das forças armadas, exigindo capacidades adaptativas e interoperáveis para enfrentamento eficaz do ambiente operacional complexo (FERNANDES, 2016).

Segundo diretrizes da Marinha do Brasil, as ameaças híbridas materializam-se pelo uso sinérgico de múltiplos instrumentos, militares ou não, como operações psicológicas, ataques cibernéticos, pirataria, propaganda, ações econômicas e crimes ambientais, integrando também ações com agentes nucleares, biológicos, químicos e radiológicos (NBQR), especialmente voltadas a vulnerabilidades específicas dos alvos, inclusive no domínio informacional (MARINHA DO BRASIL, 2023). Trata-se, portanto, de uma forma de conflito que transcende o campo de batalha tradicional e que se ancora em estratégias assimétricas, de difícil detecção e de alto impacto estratégico.

Nesse contexto, os riscos decorrentes de agentes NBQR emergem como uma das principais preocupações da segurança e defesa nacionais. Esses agentes, pela sua letalidade, capacidade de negação de área e potencial de gerar pânico social, podem ser empregados tanto por Estados quanto por grupos não estatais, de forma deliberada ou acidental (SZKLARSKI, 2024). “*CBRN events*”, como são internacionalmente classificados, podem resultar de ações hostis, falhas industriais ou mesmo desastres naturais, o que amplia o escopo de atuação das forças militares em resposta a esse tipo de ameaça (BENOLLI et al., 2021).

Eventos como o ataque com gás sarin em Ghouta (Síria, 2013), o uso do agente neurotóxico Novichok em Salisbury (Reino Unido, 2018) e o envio de cartas contaminadas com ricina nos Estados Unidos (2013 e 2020) evidenciam que os agentes NBQR continuam sendo explorados como ferramentas de coerção, intimidação e guerra irregular. Mais recentemente, a guerra na Ucrânia trouxe à tona novas preocupações quanto ao uso direto ou indireto de agentes NBQR. A destruição de instalações químicas em áreas densamente povoadas e os riscos associados a usinas nucleares, como a de Zaporizhzhia, demonstram o potencial de catástrofes NBQR, seja por ação militar deliberada ou por falhas provocadas em infraestrutura crítica

(SZKLARSKI, 2023; 2024). Esses eventos reforçam que, mesmo na ausência de conflito convencional declarado ou do uso clássico de armamentos NBQR, o espectro dessa ameaça permanece real e tangível, inserido na lógica da dissuasão híbrida, da sabotagem e do terrorismo moderno.

No Brasil, a Marinha, por meio do Sistema de Defesa NBQR (SisDefNBQR-MB), tem desenvolvido estruturas específicas para enfrentar tais desafios. Esse sistema congrega elementos operacionais, logísticos, de inteligência e capacitação científica e tecnológica, assegurando que as forças navais, aeronavais e de fuzileiros navais estejam aptas a atuar em situações de contaminação NBQR (PORTARIA EMA Nº 200/2023). O Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), por sua vez, figura como força de pronta-resposta nesse cenário, dispondo de unidades como os Batalhões de Defesa NBQR, que operam Pelotões de Reconhecimento especializados para atuar em áreas contaminadas com elevado grau de risco (CGCFN, 2020).

Contudo, diante da sofisticação crescente das ameaças e da evolução tecnológica em sensores e plataformas não tripuladas, torna-se imperativo explorar soluções mais eficientes e seguras. O emprego de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), popularmente conhecidos como drones, surge como vetor disruptivo e promissor para operações de reconhecimento NBQR, especialmente em ambientes inóspitos e de difícil acesso (ANDERSON, 2022). A utilização de drones permite ampliar o alcance operacional, aumentar a velocidade de resposta e, sobretudo, preservar a integridade física das tropas envolvidas na missão (SZKLARSKI, 2024).

Diversas nações da OTAN, além de potências emergentes, já incorporaram essas tecnologias às suas doutrinas NBQR, com plataformas equipadas com sensores capazes de detectar compostos químicos, agentes biológicos e radiações ionizantes em tempo real, reforçando uma tendência global de modernização doutrinária e tecnológica (BENOLLI et al., 2021). No entanto, no cenário nacional, o emprego sistemático de drones para fins NBQR ainda se encontra em estágio incipiente, carecendo de estudos de viabilidade técnica, doutrinária e operacional, especialmente no que tange à aplicação em missões táticas conduzidas pelo CFN (LEMOS, 2018).

A ausência de normativos específicos, as limitações de interoperabilidade com os sistemas existentes, e a carência de capacitação técnica especializada compõem um cenário que exige investigação aprofundada. Diante disso, a presente pesquisa visa analisar a viabilidade do

emprego de drones em operações de reconhecimento NBQR no nível tático do CFN, alinhando-se às tendências internacionais e à necessidade de aprimoramento das capacidades nacionais de resposta a ameaças de alta complexidade.

A presente pesquisa se insere como esforço pioneiro ao propor a aplicação de tecnologias emergentes em um campo ainda incipiente na doutrina do CFN, contribuindo com subsídios técnicos para modernização das capacidades operacionais brasileiras e reforçando a posição do Corpo de Fuzileiros Navais como força de resposta adaptativa diante de ameaças NBQR complexas.

Dessa forma, quais são os fatores que condicionam a viabilidade do emprego de Drones em operações de reconhecimento NBQR no contexto tático do Corpo de Fuzileiros Navais, e como sua adoção poderia contribuir para o fortalecimento da prontidão operativa e da resposta integrada a ameaças NBQR?

2 OBJETIVO GERAL

Apresentar possibilidades da utilização de Drones nas atividades de reconhecimento de agentes NBQR no contexto tático-operacional do Corpo de Fuzileiros Navais.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para viabilizar a consecução do objetivo geral de estudo, foram formulados os objetivos específicos, infra relacionados, que permitiram o encadeamento lógico do raciocínio descritivo apresentado neste estudo:

- a) Identificar os requisitos operacionais do reconhecimento NBQR no contexto tático do CFN;
- b) Levantar as principais capacidades técnicas de drones e sensores aplicáveis a ambientes NBQR;
- c) Examinar experiências e doutrinas internacionais no uso de drones em operações NBQR;
- d) Avaliar os desafios e limitações doutrinárias, logísticas e tecnológicas à adoção desses sistemas pelo CFN; e

e) Propor uma diretriz de implantação sistêmica Doutrinária sobre o tema abordado.

3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho delimitar-se-á à análise de publicações e dados técnico-científicos produzidos nos últimos dez anos, priorizando abordagens contemporâneas e alinhadas aos desafios emergentes no enfrentamento de ameaças NBQR. A investigação estará centrada na viabilidade da integração operacional de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP), popularmente conhecidas com Drones, aos procedimentos de reconhecimento empregados no Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (NBQR) da Marinha do Brasil.

O escopo do estudo foi limitado ao nível tático-operacional, com ênfase no emprego dos SARP no contexto do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), considerando suas especificidades doutrinárias e capacidades operacionais. Embora o enfoque recaia sobre a realidade institucional do CFN, foram mobilizadas como referências iniciativas, protocolos e diretrizes internacionais de emprego de drones em operações NBQR.

4 METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, com base em revisão bibliográfica e análise documental. Foram examinadas fontes acadêmicas, manuais doutrinários e relatórios técnicos, nacionais e internacionais, relacionados à Defesa NBQR e ao emprego de SARP em ambientes contaminados.

Foram consultados documentos das Forças Armadas brasileiras, publicações da da OTAN e de centros de excelência em Defesa NBQR. E realizada uma análise comparativa entre experiências estrangeiras e a estrutura do CFN, de forma a identificar lacunas, oportunidades de adaptação e elementos que possam subsidiar a formulação de diretrizes operacionais. A metodologia de pesquisa seguiu as seguintes etapas:

- (1) Levantamento bibliográfico sobre guerra híbrida e ameaças NBQR;
- (2) Análise da estrutura atual do SisDefNBQR-MB e do CFN;
- (3) Estudo de tecnologias de drones e sensores aplicáveis ao ambiente NBQR;

- (4) Exame de experiências internacionais; e
- (5) Sugestão de formulação de diretrizes para a implantação Doutrinária.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, é exposto o referencial teórico que fundamenta o presente estudo, constituindo o alicerce conceitual sobre o qual se estrutura a análise desenvolvida. Tal fundamentação integra conceitos-chave, teorias e modelos analíticos pertinentes ao objeto do trabalho, permitindo a construção de uma base sólida para a abordagem proposta. A revisão da literatura visa posicionar esta pesquisa no contexto das produções acadêmicas já consolidadas, evidenciando as lacunas existentes, as quais justificam e orientam a presente contribuição teórica. Apresentando os fundamentos teóricos essenciais para compreender os riscos representados por agentes NBQR, as premissas do reconhecimento tático e os principais conceitos operacionais que envolvem o uso de tecnologias autônomas em ambientes contaminados. Ao final, são discutidas as capacidades e limitações de sensores embarcados em drones voltados a esse tipo de missão, com vistas a subsidiar a análise de viabilidade proposta neste estudo.

5.1 GUERRA HÍBRIDA E O PAPEL DA DEFESA NBQR

A guerra híbrida configura-se como uma evolução significativa na tipologia dos conflitos modernos, caracterizando-se pelo emprego simultâneo e articulado de múltiplos instrumentos de poder — militar, político, econômico, informacional e cibernético — com o objetivo de alcançar vantagens estratégicas, sem necessariamente recorrer ao confronto militar convencional direto. Essa forma de guerra, combina capacidades convencionais, táticas irregulares, terrorismo e crime organizado, sendo aplicada em operações coordenadas que transcendem os limites tradicionais entre guerra e paz (FERNANDES, 2016; MATTOS, 2023).

A doutrina brasileira, alinhada às práticas da OTAN e de outras forças contemporâneas, conceitua a guerra híbrida como uma ameaça capaz de empregar meios convencionais e não convencionais de forma adaptativa, explorando vulnerabilidades por meio de ações simétricas e assimétricas, com uso de atores estatais, não estatais e meios tecnológicos avançados

(MATTOS, 2023; ALVES, 2020). Nesse sentido, o Comando de Operações Navais da Marinha do Brasil define ameaças híbridas como:

"Emprego sob medida, por ator oponente, de múltiplos instrumentos, militares ou não, como operações psicológicas, ataques cibernéticos, pirataria, ações terroristas, propaganda, contrapropaganda, desinformação, ações econômicas, crimes ambientais, interferências nas comunicações, ações de forças regulares e irregulares contra infraestruturas críticas, ataques nucleares, biológicos, químicos ou radiológicos, bem como outras atividades criminosas ou subversivas de naturezas diversas, combinando ações simétricas e assimétricas, com seu efeito sinérgico, podendo atuar em ambientes físicos ou não, particularmente o informacional, direcionados a vulnerabilidades específicas do alvo" (COMOPNAVINST nº 30-01, Brasília, COMOPNAV, 2020).

Neste contexto, destaca-se uma preocupação crescente com o uso deliberado de agentes NBQR como vetores de intimidação, coerção e desestabilização — recursos assimétricos por excelência — em operações híbridas. A ameaça representada por substâncias tóxicas, patógenos letais e materiais radiológicos, por exemplo, desafia os protocolos tradicionais de resposta por sua alta letalidade e pelas dificuldades inerentes à detecção, identificação e atribuição de autoria. Eventos envolvendo agentes NBQR podem ser intencionais, acidentais ou naturais, mas quando empregados em estratégias híbridas adquirem maior grau de complexidade e potencial disruptivo, exigindo integração interagências e capacidade de resposta especializada. (LEMOS, 2018; SZKLARSKI, 2024)

Destaca-se que, nesse ambiente, o emprego de agentes NBQR é ainda mais preocupante pelo seu potencial de saturar os sistemas de saúde e defesa civil, espalhar pânico e paralisar funções críticas do Estado, sobretudo quando veiculados por dispositivos improvisados ou disseminados em áreas urbanas densamente povoadas. Portanto, no enfrentamento da guerra híbrida contemporânea, torna-se indispensável considerar a dimensão NBQR como componente central das estratégias de resposta. A capacidade de antecipar, identificar e mitigar ameaças desse tipo reforça a resiliência das forças armadas e a segurança nacional em um cenário de crescente complexidade e imprevisibilidade.

5.2 CONCEITO DE AGENTES NBQR

Os agentes NBQR (nucleares, biológicos, químicos e radiológicos) formam um conjunto particular de substâncias e materiais que apresentam alto potencial de causar impactos graves à saúde humana, ao meio ambiente e à estabilidade das estruturas sociais e econômicas. De acordo com o Manual de Defesa NBQR do Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais, esses agentes são definidos como um "termo genérico que compreende agentes nucleares, biológicos, químicos e radiológicos".

5.2.1 Agente Nuclear

Agentes nuclear referem-se a materiais capazes de provocar reações de fissão ou fusão nuclear, com liberação intensa de energia, radiação ionizante e efeitos destrutivos generalizados. Na doutrina do Comando Geral do Corpo de Fuzileiros Navais (CGCFN), o agente nuclear é aquele cuja natureza envolve o uso de energia nuclear em munições, artefatos ou dispositivos, com o propósito de causar destruição maciça e prolongada. Esses agentes incluem bombas nucleares, artefatos improvisados (do inglês, *Improvised Nuclear Device* - IND) e materiais fissíveis como urânio-235 e plutônio-239 (BRASIL, 2021).

A Agência Internacional de Energia Atômica define o risco nuclear a partir de duas vertentes: acidentes em instalações nucleares civis e o uso intencional de dispositivos nucleares em contextos bélicos ou terroristas. Em ambos os casos, os impactos incluem a liberação de radiação ionizante, causadora de doenças agudas, como a síndrome da radiação, e efeitos crônicos como câncer e mutações genéticas (do inglês, *International Atomic Energy Agency* - IAEA, 2024).

5.2.2 Agente Biológico

Agentes biológicos são microrganismos patogênicos (bactérias, vírus, fungos, toxinas) capazes de causar doenças em humanos, animais ou vegetais, sendo utilizados como arma biológica para incapacitar ou eliminar populações. A doutrina militar brasileira classifica esses agentes conforme seu grau de letalidade, estabilidade e dificuldade de detecção. São divididos entre patógenos e toxinas, podendo ser disseminados por vetores naturais ou artificiais (BRASIL, 2016).

O Centro de Controle e Prevenção de Doenças (do inglês, *Centers for Disease Control and Prevention* – CDC) destaca que o uso de agentes biológicos é particularmente preocupante devido à sua capacidade de disseminação silenciosa e ao alto potencial de contágio. A resposta a esses eventos requer vigilância epidemiológica, medidas de quarentena e resposta médica especializada (CDC, 2024).

2.2.3 Agente Químico

Agentes químicos são substâncias tóxicas capazes de provocar morte, incapacitação ou lesões graves por ação direta sobre organismos vivos. Segundo a Convenção sobre Armas Químicas, incluem compostos neurotóxicos, vesicantes, sufocantes e incapacitantes. A doutrina brasileira divide esses agentes conforme seu estado físico, tempo de persistência no ambiente e efeitos fisiológicos, sendo os neurotóxicos (como o VX e o sarin) os mais letais (BRASIL, 2016; OPCW, 2024).

Conforme a *Convenção sobre Armas Químicas* (OPCW), os agentes químicos são classificados em três listas:

- **Lista 1:** substâncias com pouca ou nenhuma aplicação civil e alto potencial de uso como arma, como sarin (GB), VX, mostarda de enxofre (HD);
- **Lista 2:** precursores ou substâncias com aplicações industriais legítimas limitadas, como DF (difluorometilfosfonato);
- **Lista 3:** substâncias de uso industrial difundido, mas que podem ser utilizadas para produção de agentes tóxicos, como fosgênio e cloreto de cianogênio (OPCW, 2024).

Esses agentes têm efeitos imediatos ou retardados, podendo causar morte em minutos ou danos crônicos como câncer e lesões neurológicas. A Agência de Proteção dos Estados Unidos (U.S. EPA) alerta que agentes de quarta geração (como *Novichok*) são altamente letais mesmo em doses mínimas (U.S. EPA, 2024).

5.2.4 Agente Radiológico

Agentes radiológicos, segundo o Manual CGCFN -30.01, são substâncias que emitem radiação ionizante por decaimento espontâneo e que podem ser empregadas como armas através de dispositivos de dispersão radiológica (do inglês, *Radiological Dispersal Device* - RDD), conhecidos como "bombas sujas". Essas armas combinam material explosivo com

radionuclídeos como césio-137 ou cobalto-60, visando contaminar áreas amplas e gerar pânico. A diferenciação entre os termos "nuclear" e "radiológico" baseia-se essencialmente na natureza do evento ou no tipo de efeito produzido. O termo "nuclear" aplica-se quando há envolvimento direto de reações nucleares ou de dispositivos que operam com base nesse princípio. Por outro lado, utiliza-se "radiológico" quando não há reação nuclear envolvida, mas há exposição ou liberação de material radioativo de outra origem (BRASIL, 2021).

A IAEA aponta que tais agentes são frequentemente utilizados em ambientes médicos e industriais e, por isso, acessíveis ao desvio. Os efeitos incluem a contaminação ambiental prolongada, danos genéticos, câncer e o colapso psicológico da população atingida. Diferente da ameaça nuclear, o agente radiológico não causa uma explosão nuclear, mas pode inviabilizar o uso de áreas urbanas por anos (IAEA, 2024).

5.3 FATOS RECENTES ENVOLVENDO AGENTES NBQR

A análise de eventos recentes envolvendo o emprego de agentes nucleares, biológicos, químicos e radiológicos (NBQR) revela a evolução das ameaças contemporâneas e oferece subsídios críticos para o entendimento das dinâmicas de conflito híbrido e suas implicações na segurança internacional. O uso sistemático de armas químicas na Síria constitui um dos exemplos mais marcantes da última década, com destaque para o ataque em Ghouta, ocorrido em agosto de 2013. Na ocasião, a liberação de gás sarin em uma área densamente povoada resultou na morte de centenas de civis, evidenciando o impacto devastador dos agentes neurotóxicos em zonas urbanas e sua capacidade de gerar comoção internacional e crises humanitárias (SZKLARSKI, 2024).

Outro episódio emblemático foi o envenenamento do ex-espião russo Sergei Skripal e sua filha, ocorrido em Salisbury, no Reino Unido, em março de 2018. O uso do agente químico do tipo Novichok, desenvolvido na era soviética, demonstrou não apenas um elevado grau de sofisticação técnico-operacional, como também a dificuldade de atribuição direta, característica típica das operações híbridas e de guerra de influência, nas quais agentes NBQR são empregados como instrumentos de intimidação e desestabilização política (SZKLARSKI, 2024; MATTOS, 2023).

No contexto do conflito entre Rússia e Ucrânia, desde 2022, têm-se observado diversas evidências do uso direto e indireto de agentes NBQR. Relatórios internacionais e análises

técnicas apontam para ataques a instalações industriais sensíveis, como fábricas químicas e depósitos de amônia (NH_3), com potencial de liberar materiais tóxicos no ambiente, o que representa uma forma de guerra híbrida ambiental e psicológica. Um exemplo emblemático é o bombardeio intencional a infraestruturas químicas em Sumy, Ucrânia, onde houve vazamento de amônia tóxica, provocando a necessidade de evacuação de civis e mobilização de unidades de defesa NBQR (THE CBRN THREAT PERSPECTIVE OF AN INTERAGENCY RESPONSE, 2022).

Além disso, segundo relatórios da União Europeia e de análises operacionais norte-americanas, há indícios de que a Rússia mantém ativos programas de modernização de suas capacidades NBQR, inclusive com o emprego de munições contendo fósforo branco, também conhecido como tetrafulfóforo (P_4), e ameaças veladas quanto ao uso de armas nucleares táticas. Tais estratégias buscam criar um ambiente de dissuasão e caos, ampliando os efeitos psicológicos sobre tropas inimigas e populações civis (FM 3-11, 2019; SZKLARSKI, 2024).

Dessa forma, o estudo de casos como Síria, Reino Unido e Ucrânia demonstra que os agentes NBQR continuam a ser empregados não apenas como instrumentos de destruição física, mas também como vetores de coerção geopolítica e ferramentas táticas em guerras assimétricas, exigindo das nações o fortalecimento de suas capacidades de prevenção, resposta e resiliência frente a essas ameaças complexas e multiformes.

5.4 SISTEMA DE DEFESA NBQR DA MARINHA DO BRASIL

Nesse atual contexto, caracterizado pelo uso assimétrico e multidimensional de diferentes instrumentos de poder, as Forças Armadas do Brasil têm a função de proteger o território nacional e atuar na dissuasão de ameaças, incluindo aquelas provenientes de agentes nucleares, biológicos, químicos e radiológicos (NBQR). O emprego desses agentes demanda das Forças Armadas prontidão operacional, capacidade de resposta integrada e infraestrutura técnico-logística adequada (BRASIL, 2023).

Além de sua função defensiva e estratégica, as Forças Armadas atuam, conforme previsto no §1º do art. 16 da Lei nº 12.608/2012, como órgãos de apoio à Defesa Civil nas ações de prevenção, preparação, resposta e recuperação diante de desastres de origem natural ou tecnológica. Essa colaboração é especialmente relevante em cenários NBQR, nos quais a expertise das Forças Armadas é essencial para o reconhecimento, isolamento, descontaminação

e mitigação de efeitos sobre populações civis, infraestrutura crítica e o meio ambiente (BRASIL, 2012). A atuação conjunta entre Defesa Civil e Forças Armadas permite uma resposta coordenada, técnica e eficaz, alinhada às diretrizes do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC).

A Marinha do Brasil, conforme estabelecido pela Estratégia Nacional de Defesa (END), assume a função estratégica de proteger a “Amazônia Azul” e garantir a segurança das áreas marítimas de interesse nacional. Entre suas atribuições está a vigilância, o controle e a defesa contra ameaças que comprometam a soberania nacional, o que inclui incidentes envolvendo armas de destruição em massa ou eventos com agentes NBQR. A END reconhece que a crescente proliferação de tecnologias sensíveis e o uso de artefatos NBQR por atores estatais e não estatais tornam imperativa a existência de uma estrutura robusta de defesa nesse domínio (BRASIL, 2020).

Com base nesses pressupostos, foi estruturado o Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB), cuja concepção está prevista na Portaria nº 200/2023-EMA. Trata-se de uma estrutura hierarquizada, composta por diversos subsistemas que operam de forma articulada para cobrir todas as fases da defesa NBQR: prevenção, detecção, resposta, recuperação e coordenação institucional (BRASIL, 2023a).

O SisDefNBQR-MB é organizado em quatro subsistemas principais:

I. Subsistema de Governança: Responsável pela governança e normatização do sistema, é coordenado pelo Estado-Maior da Armada (EMA), que atua como Órgão Central do SisDefNBQR-MB. Este subsistema define as diretrizes estratégicas, elabora os planos de contingência e coordena a interlocução com os demais entes do Ministério da Defesa, das Forças Singulares e da Defesa Civil nacional.

II. Subsistema Operacional: Divide-se em três níveis de resposta:

O primeiro nível, corresponde às ações de caráter preventivo, e visa dotar todas as organizações militares da Marinha de capacidades mínimas de proteção NBQR. Isso inclui treinamentos básicos, equipamentos individuais e protocolos operacionais padronizados que assegurem a prontidão básica das tripulações frente a contaminações acidentais ou intencionais;

O segundo nível é voltado à resposta tática, incluindo ações de detecção, identificação e descontaminação. As unidades desse nível contam com maior grau de especialização e

capacidade técnica, sendo empregadas em situações que exijam resposta rápida e precisa diante de incidentes com agentes NBQR, mas ainda em uma escala limitada e regionalizada; e

O Por fim, o terceiro nível do subsistema é representado pelos Batalhões de Proteção e Defesa NBQR (BtlProtDefNBQR), responsáveis pela resposta especializada e de maior intensidade. Essas unidades concentram os meios humanos e materiais mais avançados, aptos a operar em ambientes altamente contaminados e a apoiar operações expedicionárias, como as conduzidas pelo Corpo de Fuzileiros Navais (CFN). Seu emprego é decisivo em cenários de guerra híbrida e em crises envolvendo armas de destruição em massa ou acidentes tecnológicos com elevado impacto (BRASIL, 2023b).

III. Subsistema de Ciência & Tecnologia (C&T): Reúne os órgãos de pesquisa e desenvolvimento, como o Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), os Laboratórios de Defesa NBQR e o Sistema de Saúde da Marinha. Atua no suporte técnico-científico para diagnóstico, modelagem de ameaças e desenvolvimento de contramedidas. Também contribui para a manutenção da prontidão médico-sanitária e para a análise de amostras contaminadas;

IV. Subsistema de Inteligência: Responsável por produzir conhecimento oportuno sobre ameaças NBQR, monitorar atividades suspeitas, analisar incidentes e alimentar o planejamento estratégico da Defesa NBQR. Atua em interface com o Sistema de Inteligência da Marinha e com a Agência Brasileira de Inteligência (ABIN);

V. Subsistema de Capacitação: Responsável por planejar e executar o ensino, treinamento e certificação de militares para atuação em ambiente NBQR. Envolve desde instrução básica nas escolas de formação até cursos avançados, simuladores, exercícios conjuntos e doutrina específica, com foco na interoperabilidade com órgãos civis e internacionais.

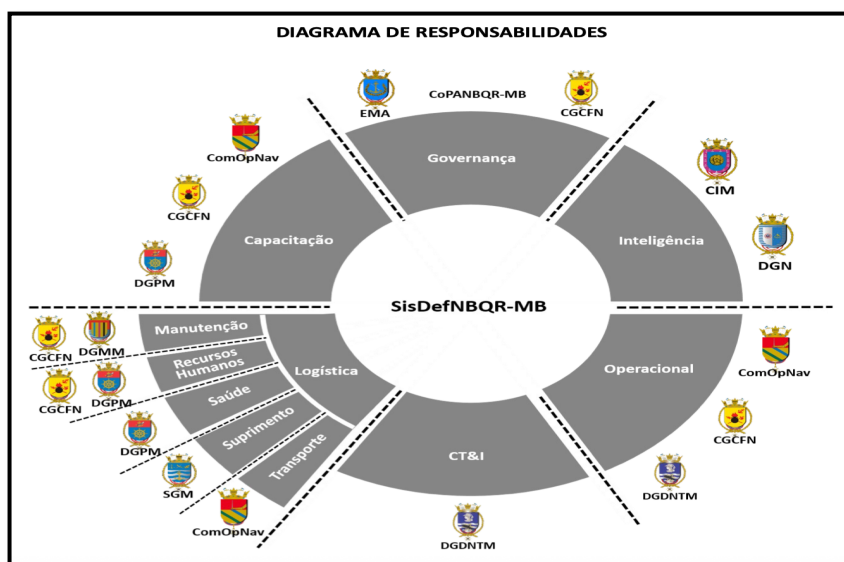
VI. Subsistema Logístico: Voltado à manutenção da infraestrutura, aquisição de equipamentos especializados, estoques estratégicos e apoio à mobilização em emergências NBQR. Compreende arsenais, centros de apoio logístico e instalações de descontaminação em portos e bases navais.

A integração entre os diversos subsistemas confere ao SisDefNBQR-MB a capacidade de atuar de forma escalonada, flexível e eficaz frente aos diferentes níveis de ameaça NBQR, sejam elas de origem intencional, acidental ou natural. A estrutura do sistema foi concebida de modo a distribuir responsabilidades de forma clara e funcional: cada Organização Militar (OM) ou setor da MB possui atribuições específicas no âmbito da prevenção, detecção, resposta e

recuperação, conforme sua natureza, nível hierárquico e capacidade técnico-operacional (BRASIL, 2023a).

Outrossim, o SisDefNBQR-MB está alinhado às diretrizes estabelecidas pelo Sistema de Defesa NBQR do Ministério da Defesa e integrado ao Sistema de Cooperação Civil-Militar (CIMIC), o que facilita a atuação conjunta com órgãos civis federais, estaduais e municipais em emergências, operações de defesa civil ou apoio à população. Tal alinhamento reforça a interoperabilidade e a prontidão da Marinha do Brasil para atuar em cenários de elevada complexidade e risco (BRASIL, 2020; BRASIL, 2023a). A Figura 1 apresenta o diagrama de responsabilidades do Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB).

Figura 1: Diagrama de Responsabilidades do Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil SisDefNBQR-MB.



Fonte: Portaria nº 200/2023-EMA – MB –2023.

Dessa forma, o SisDefNBQR-MB representa uma evolução institucional estratégica, promovendo a interoperabilidade entre setores civis e militares e assegurando que a Marinha do Brasil esteja preparada para enfrentar as ameaças NBQR com eficiência, responsabilidade e capacidade de dissuasão — seja em tempo de guerra, em operações de paz ou em desastres de grande magnitude.

5.4.1 Composição dos BtlProtDefNBQR no Subsistema Operacional

Atualmente, o CFN possui 3 Batalhões de Proteção e Defesa NBQR (BtlProtDefNBQR) os quais representam, por meio do CFN, a principal estrutura de resposta especializada da Marinha do Brasil frente a ameaças NBQR, sendo parte fundamental do segundo e terceiro níveis do Subsistema Operacional do SisDefNBQR-MB. Os (BtlProtDefNBQR) têm como missão prover apoio direto aos Grupamentos Operativos de Fuzileiros Navais (GptOpFuzNav) em operações expedicionárias, bem como atuar em resposta a emergências NBQR no território nacional e em áreas sensíveis da Marinha, como o Centro Experimental de Aramar e o Complexo Naval de Itaguaí (BRASIL, 2023a).

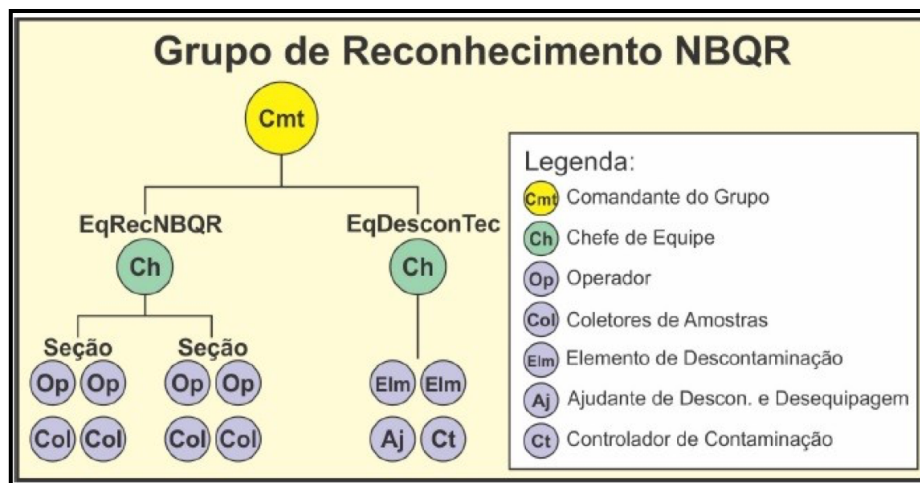
Estruturalmente, o Batalhão está organizado em uma configuração hierárquica que contempla três companhias operacionais e uma companhia de comando e apoio. Cada companhia possui frações especializadas que atuam de forma coordenada em todas as fases de uma operação NBQR.

5.4.2 A Importância tática do Pelotão de Reconhecimento NBQR (PelRecNBQR)

Os PelRecNBQR constituem umas das frações das companhias dos BtlProtDefNBQR, exercendo papel fundamental nas fases iniciais de qualquer operação em ambiente contaminado. De acordo com os procedimentos estabelecidos no POP nº 2/BtlProtDefNBQR, esse pelotão é responsável por realizar a detecção, identificação provisória e delimitação de áreas afetadas por agentes nucleares, biológicos, químicos ou radiológicos, além de efetuar coleta técnica de amostras e descontaminação imediata em campo, assegurando suporte direto a GptOpFuzNav e ao SisDefNBQR-MB.

Estruturalmente, o PelRecNBQR está organizado em dois Grupos de Reconhecimento NBQR (GpRecNBQR), cada um composto por: uma Equipe de Reconhecimento (EqRecNBQR), uma Equipe de Descontaminação Técnica (EqDesconTec) e uma Equipe de Coleta de Amostras, conforme apresentado na Figura 2. Essa divisão permite que os grupos operem de forma independente ou integrada, de acordo com a missão (BRASIL, 2022).

Figura 2: Composição do Grupo de Reconhecimento NBQR (GpRecNBQR).



Fonte: CGCFN 30.01 – Manual de Defesa NBQR da Marinha do Brasil.

As tarefas atribuídas ao PelRecNBQR, conforme o POP mencionado, incluem:

- Detecção e identificação provisória de agentes NBQR por meio de sensores portáteis;
- Monitoramento de níveis de concentração e mapeamento da contaminação em áreas abertas ou compartimentos fechados;
- Balizamento e sinalização padronizada de zonas contaminadas (linhas quente/fria, áreas de coleta e rota segura);
- Coleta de amostras com tripla embalagem, rotulagem, registro e transferência segura para análise posterior;
- Descontaminação técnica de operadores, equipamentos e materiais sensíveis; e
- Reconhecimento visual ou remoto com apoio de binóculos, robôs e aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), conforme o grau de exposição.

Dessa forma, percebe-se que a capacidade dos PelRecNBQR de operar diretamente em zonas contaminadas caracteriza-os como vetores de resposta crítica dentro do ciclo NBQR. A ação rápida e qualificada permite a detecção do ambiente contaminado, a identificação do tipo do agente e suas características, o que é indispensável para o planejamento da descontaminação, efetuar o isolamento da área e a garantir a proteção da tropa e da população civil.

Para cumprir essas atividades com segurança e eficácia, os integrantes do PelRecNBQR utilizam um conjunto de equipamentos especializados que garantem a proteção

individual e a capacidade de operar em ambientes hostis. Entre os principais materiais empregados destacam-se (BRASIL, 2022):

- Equipamento de Proteção Individual (EPI) completo, com trajes de proteção NBQR em diferentes níveis de proteção orientada para a missão (do inglês, *Mission Oriented Protective Posture* - MOPP);
- Máscaras contra gases com filtros químicos específicos ou respiradores autônomos, conhecidos como Equipamento de Proteção Respiratória (EPR), para uso em atmosferas com deficiência de oxigênio;
- Detectores portáteis de agentes químicos, biológicos e radiológicos, de tecnologias diversas, a fim de minimizar falsos positivos;
- Equipamentos de balizamento e sinalização, como fitas codificadas por cor para delimitação da contaminação (ex: branco/preto para nuclear; amarelo/vermelho para químico);
- Kits de coleta de amostras com tripla embalagem e rastreabilidade; e
- Bombas costais e escovas para descontaminação técnica imediata.

Apesar do uso desses equipamentos, a atuação do PelRecNBQR é limitada pelo tempo de exposição permitido nos ambientes contaminados, especialmente quando é necessário o uso de equipamentos de respiração autônoma (EPR). Especialmente para a utilização deste equipamento, utiliza-se o cálculo do tempo de trabalho seguro com base na pressão do cilindro, volume e demanda de oxigênio do operador. Para operações típicas, considera-se uma demanda média de 80 [bar·L]/min, o que impõe limites operacionais estritos — tanto para garantir a segurança do militar quanto para evitar falhas nos equipamentos sob estresse térmico e químico (BRASIL, 2022).

Esse fator é agravado pelo risco extremo de exposição direta a substâncias tóxicas, partículas radioativas, patógenos e toxinas, podendo ser invisíveis, inodoras e silenciosas. A aproximação física dos operadores à área contaminada exige movimentação cuidadosa, reconhecimento visual rigoroso e interpretação precisa dos sinais de detecção.

Assim, os militares do PelRecNBQR operam em condições adversas e de alto risco, sendo essencial que recebam capacitação contínua, suporte logístico adequado e respaldo doutrinário. Sua atuação é decisiva para o sucesso das missões de Defesa NBQR, uma vez

que as informações coletadas no campo são a base para o planejamento das ações subsequentes, como descontaminação, isolamento da área e retirada de vítimas.

5.5 PRINCÍPIOS E FASES DAS ATIVIDADES DE RECONHECIMENTO NBQR NA MARINHA DO BRASIL (MB)

De acordo com o CGCFN 30.1- Manual de Defesa NBQR, as atividades de Reconhecimento NBQR devem seguir quatro princípios fundamentais operacionais:

- **Orientação para a ameaça:**

O reconhecimento deve ser dirigido a áreas onde há suspeita ou evidência do emprego de agentes NBQR ou da liberação de substâncias tóxicas industriais (TIC). Essa seletividade evita exposições desnecessárias e permite uma alocação eficiente de recursos, priorizando os locais com maior probabilidade de contaminação.

- **Rápida avaliação da situação:**

A identificação rápida da presença de agentes NBQR é essencial para prover o alerta antecipado às tropas e permitir a adoção imediata de medidas de proteção. A prontidão da equipe e a confiabilidade dos equipamentos de detecção são essenciais para esse fim.

- **Transmissão tempestiva e precisa dos dados obtidos:**

O reconhecimento deve fornecer dados detalhados sobre o tipo de agente, sua concentração, extensão espacial e possíveis vetores de propagação. Essa caracterização envolve o uso de detectores químicos de múltiplas tecnologias, sensores radiológicos com sondas específicas (beta/gama) e, para agentes biológicos, a coleta criteriosa de amostras com rastreabilidade forense. Esses dados devem ser imediatamente retados ao Comando mesmo que aparentemente irrelevantes, pois a somatória de dados parciais pode indicar padrões relevantes à decisão tática. Essa disseminação imediata reduz o tempo de resposta e orienta o emprego das demais frações de Defesa NBQR.

- **Evitar contato com o inimigo:**

Em cenários de combate, seja convencional ou de guerra irregular, os GpRecNBQR devem ser sempre acompanhados por elementos de segurança, permitindo que concentrem seus esforços exclusivamente na detecção e identificação dos agentes contaminantes — atividades

que demandam tempo e alta complexidade. A perda desses operadores compromete severamente a capacidade da Força para futuras ações NBQR. Esses militares especializados devem evitar o confronto direto, engajando-se apenas em legítima defesa e, se possível, buscando abrigo e solicitando reforços ao romper o contato com o inimigo.

Além dos princípios a serem seguidos, a condução das atividades de reconhecimento NBQR deve ser realizada de forma estruturada, obedecendo às seguintes fases sequenciais (BRASIL, 2021):

- a) **Planejamento** – definição dos objetivos da missão, análise da ameaça NBQR, escolha dos itinerários e locais de interesse e coordenação com as demais frações envolvidas;
- b) **Organização** – concentração dos meios humanos e materiais necessários, incluindo a designação das equipes e checagem da disponibilidade dos recursos;
- c) **Preparação** – verificação dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), sistemas de detecção e sinalização, revisão das viaturas, testes de comunicação e difusão das informações à equipe;
- d) **Aproximação** – deslocamento tático ao local de interesse, com aplicação das medidas de segurança e proteção física adequadas à ameaça;
- e) **Estabelecimento de segurança** – isolamento e proteção do perímetro da área a ser reconhecida, garantindo liberdade de ação ao GpRecNBQR;
- f) **Execução do reconhecimento** – realização das tarefas de detecção, identificação, coleta de dados e caracterização da ameaça;
- g) **Marcação e sinalização** – delimitação da área contaminada com os dispositivos padronizados e sinalização visual conforme o agente identificado;
- h) **Transmissão das informações** – Estabelecimento de contato tempestivo com o a célula de comando e controle;
- i) **Reorganização e retirada** – reunião dos elementos do grupo e deslocamento seguro até a estação de descontaminação técnica;

j) **Descontaminação** – execução dos procedimentos técnicos para remoção de contaminantes do pessoal, materiais e viaturas; e

l) **Retorno e relatório** – regresso à base de origem e confecção do relatório pós-missão com os dados operacionais colhidos.

5.6 DETECTORES E IDENTIFICADORES DE AGENTES NBQR

O sucesso das operações de reconhecimento NBQR depende, em grande medida, da precisão, sensibilidade e confiabilidade dos sensores utilizados para a detecção e identificação das ameaças NBQR. Esses sensores, tradicionalmente empregados em dispositivos portáteis manuais, vêm sendo cada vez mais miniaturizados e integrados a plataformas não tripuladas, como os VANT, a fim de ampliar o alcance operacional e mitigar o risco humano nas zonas contaminadas (BRASIL, 2022).

5.6.1 Classificação

Os sensores empregados em missões NBQR podem ser classificados segundo diversos critérios, sendo os mais relevantes: tipo de agente detectado, princípio físico-químico de funcionamento, nível de automação e forma de integração (portátil, embarcado, remoto). Quanto ao tipo de ameaça, os sensores dividem-se em:

- **Nucleares/Radiológicos:** detectores de radiação gama e nêutrons (ex.: cintiladores, tubos Geiger-Müller, espectrômetros de cintilação com cristais NaI(Tl) ou LaBr₃).
- **Químicos:** sensores baseados em ionização fotoelétrica (PID), espectroscopia de mobilidade iônica (IMS), sensores de semicondutores (MOX), colorimetria e espectrometria de massas.
- **Biológicos:** biossensores, imunoenaios, testes de reação em cadeia da polimerase (PCR) embarcados, analisadores de partículas em suspensão.
- **Multifuncionais:** plataformas combinadas para detecção simultânea de múltiplos agentes, com capacidade de georreferenciamento.

Quanto à operação, há sensores passivos (que apenas coletam dados do ambiente) e ativos (que irradiam sinais e analisam a resposta). Para o tema abordado, é importante evidenciar a capacidade de integração e acoplamento, pois os sensores embarcados em drones

devem possuir peso reduzido, baixo consumo energético e resistência à vibração e interferência eletromagnética.

5.6.2 Equipamentos de sensoriamento e identificação NBQR utilizados no CFN

A estrutura atual do CFN contempla diversos dispositivos voltados à proteção e detecção NBQR, sendo os Pelotões de Reconhecimento (PelRecNBQR) os principais elementos de coleta e análise em campo. Essas unidades operam com um conjunto de sensores que, embora eficazes em determinadas condições, apresentam limitações significativas no que diz respeito à segurança do operador, autonomia de missão e alcance de coleta. Nesta seção, reestruturamos os equipamentos em categorias funcionais para melhor compreensão técnica e identificação das lacunas que poderiam ser supridas com o uso de drones.

Entre os sensores e detectores efetivamente utilizados nessas frações de reconhecimento, constam:

- **RAID-M:** Detector portátil de agentes químicos baseado em tecnologia de espectrometria de mobilidade iônica (IMS). Permite identificar compostos do tipo G (sarin), V (VX) e agentes de bolhas como mostarda (HD) com alarmes visuais e sonoros. É empregado para alertas imediatos e mapeamento da extensão da contaminação.
- **AP2C:** Sensor portátil de chama catalítica para detecção de fósforo, enxofre e compostos cianídricos. Utilizado para identificar agentes como sarin, gás mostarda e cianeto de hidrogênio. Apresenta leitura digital contínua e resposta rápida em campo.
- **ADM-300A:** Radiômetro portátil multipropósito com capacidade de detecção alfa, beta e gama. Opera com sondas externas específicas, permitindo medições em superfícies, solo, materiais e roupas. Inclui alarmes configuráveis e registro de dados internos.
- **IdentiFINDER R300 :** Espectrômetro gama portátil com GPS integrado, utilizado para identificação de radionuclídeos. Possui display gráfico com discriminação automática de fontes e conectividade para transmissão de dados georreferenciados.
- **Kit RSDL (*Reactive Skin Decontamination Lotion*):** utilizado para testes rápidos de contaminação dérmica de certos patógenos.

Conforme o CGCFN 30.01- Manual de Defesa NBQR, esses sensores são complementados por equipamentos que, dentre outros, evidenciam-se:

- **Coletor de partículas biológicas (em operação restrita)** para posterior análise laboratorial;
- **Fitas de detecção colorimétrica**, como o M8/M9, utilizadas para sinalização preliminar de agentes líquidos;
- **Kits de coleta com tripla embalagem**, rastreabilidade e isolamento seguro da amostra;
- **Equipamentos de balizamento codificado por cor** para demarcar zonas quente, morna e fria conforme o tipo de agente identificado;
- **Equipamentos de proteção respiratória autônoma (EPR)** e trajes NBQR com diferentes níveis MOPP, essenciais para que os operadores executem suas funções sem contaminação.

Os dados colhidos por meio desses equipamentos devem ser transmitidos de forma imediata e precisa ao comando tático, possibilitando a definição de medidas como isolamento da área, evacuação, triagem de vítimas e início dos protocolos de descontaminação coletiva. Embora eficazes em missões convencionais, ainda requerem a exposição direta do operador em zonas potencialmente contaminadas. Por isso a integração desses sensores em plataformas aéreas pode permitir reconhecimento em profundidade com maior rapidez, agilizando o processo de tomada de decisões e garantir maior segurança com a redução de risco de exposição direta da tropa empregada.

5.6.3 Sensores com capacidade de acoplamento em Drones disponíveis no mercado

A miniaturização dos sensores e o avanço na eletrônica embarcada têm viabilizado o uso crescente de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) em operações de reconhecimento NBQR. Sensores como o MIRA-Lab SmartGeiger-M, o MSP 1230-Gamma Probe, ou módulos PID compactos da empresa *RAE Systems*, já vêm sendo acoplados a micro e mini drones, como o DJI Matrice 300, o Parrot Anafi USA e o quadrotor SwissFly.

Ademais, o estudo conduzido por Marturano et al. (2020) demonstra que a posição do sensor no drone influencia diretamente na leitura da pluma contaminada, sendo necessário aplicar simulações de dinâmica de fluidos (CFD) para posicionamento ideal dos sensores em relação ao arrasto das hélices.

Outro avanço recente refere-se à detecção cooperativa com drones em “enxames” (*swarm drones*), onde múltiplas unidades compartilham leituras sensoriais em tempo real. Essa abordagem permite mapeamento tridimensional de plumas químicas ou radiológicas e localização precisa da fonte de contaminação (VALE et al., 2023).

Com base em experiências dos EUA e da OTAN, observamos que a tendência internacional converge para a adoção de sensores NBQR modulares e intercambiáveis, capazes de operar de forma autônoma e com conectividade direta aos centros de comando, integrando inteligência artificial para triagem automática dos dados.

5.7 SISTEMAS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (SARP)

O uso de aeronaves não tripuladas, tecnicamente conhecidas como SARP (Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas) ou popularmente como Drones, tem se expandido de forma significativa em setores civis, científicos e militares. Essa ampla adoção requer uma sistematização conceitual e classificatória que permita compreender suas características, operações e potencialidades de aplicação em diferentes contextos

5.7.1 Conceito, Classificações e Tipologia de SARP

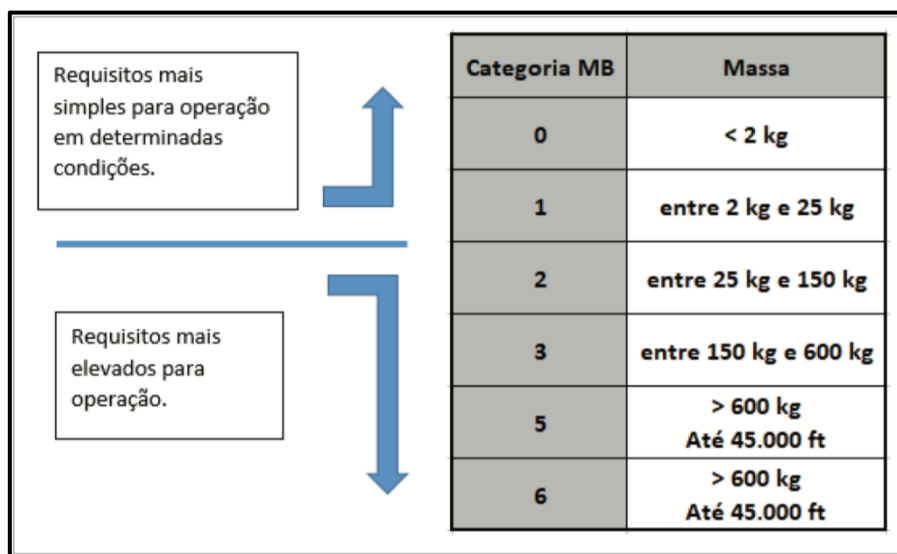
De acordo com a Portaria nº 213/DGMM, de 12 de dezembro de 2022, da Marinha do Brasil, os drones são oficialmente denominados Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP), sendo constituídos por uma ou mais aeronaves, estações de controle, enlaces de dados, sensores embarcados e outros componentes de apoio operacional e logístico (MARINHA DO BRASIL, 2022).

O conceito de SARP abrange tanto os veículos aéreos remotamente pilotados quanto os meios necessários à sua operação segura e eficaz. Essa abordagem sistêmica reforça a importância de considerar a integração tecnológica e a interoperabilidade entre os elementos da missão.

Diante da ampla gama de aplicações e das distintas características operacionais do SARP, tornou-se necessário adotar critérios de categorização que variam conforme o enfoque da instituição. A indústria, por exemplo, costuma classificar esses sistemas com base no alcance e na altitude de voo. Já a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) prioriza o peso da aeronave, critério que se aproxima da classificação utilizada pela OTAN. No âmbito do

Ministério da Defesa (MD), propõe-se uma classificação orientada principalmente pela finalidade de emprego do sistema — seja ela de natureza tática, operacional ou estratégica. Alinhando-se a essa diretriz ministerial, a Marinha do Brasil optou por adotar a categorização que melhor reflete esse propósito, conforme detalhado na Tabela 1 (MARINHA DO BRASIL, 2022).

Figura 3: Classificação dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) da Marinha do Brasil (MB).



Fonte: PORTARIA N° 213/DGMM, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2022

É importante destacar que, com base nessa classificação, verifica-se que as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) enquadradas nas Categorias 0 e 1 estão sujeitas a exigências operacionais menos rigorosas, desde que cumpram determinadas condições específicas. Em contrapartida, os sistemas classificados como Categoria 2 ou superior apresentam requisitos mais restritivos, em razão de fatores como alcance, velocidade, massa e classificação na esteira de turbulência. Essas particularidades impõem maior rigor tanto na capacitação do pessoal responsável por operar e manter os sistemas quanto nas exigências relativas à segurança da aviação e aos processos de aquisição desses meios (MARINHA DO BRASIL, 2022).

Adicionalmente, visando estabelecer uma correlação entre a classificação adotada pela MB e aquelas utilizadas por outras instituições nacionais e internacionais, a Tabela 1 apresenta um panorama comparativo das principais categorias atualmente em uso.

Tabela 1: Comparativo de Classificações dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP).

Categorias MB / MD	Classes adotadas pela OTAN	Classificações conforme ANAC	Classificações Industriais	Nível de Emprego	Características de altitude e alcance	Operações em que são empregados
0	A < 150kg	Classe 3 – Peso máximo de decolagem menor que 25Kg	Micro – VANT < 2Kg	Tático	Até 1000 ft AGL/ 5km	Sistemas de pronto emprego em suporte às Unidades Táticas até o nível Força Componente. Geralmente lançados de posição próxima das unidades apoiadas com a mínima estrutura de suporte.
1			Mini – VANT 2- 25 Kg		Até 3000 ft AGL 25Km (Linha Visada)	
2		Classe 2 – Peso entre 25 Kg e 150 Kg			Até 5000 ft AGL 100Km (Linha Visada)	
3	B 150 – 600 kg	Classe 1 – Peso maior que 150 Kg	Baixa Altitude e Curto Alcance	Operacional	Até 18000 ft AGL 250Km (Linha Visada)	Suporte a operações de grande vulto. Envolvendo Comandos Conjuntos, Forças Tarefas Interagência, Inteligência Operacional e Estratégica. Necessitam de considerável estrutura logística
4	C > 600Kg		Média Altitude e Longo Alcance	Estratégico	Até 45000 ft AGL 100Km (Satélite)	
5			Alta Altitude e Longo Alcance		Até 3000 ft AGL 25Km (Satélite)	

Fonte: O Autor (2025) (adaptado de PORTARIA N° 213/DGMM, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2022)

Existe também outros tipos de classificações, que no âmbito civil os drones são comumente classificados como quanto a estrutura física do drone o que influencia diretamente na sua manobrabilidade e quanto a sua autonomia (BOURSCHEIDT, 2019; ALENCAR, 2015):

a) **Por Configuração Aerodinâmica**

- **Asa Fixa:** semelhante a aviões tradicionais, são eficientes em voos de longa distância e missões com alta resistência ao vento. Porém, exigem pistas ou sistemas específicos para decolagem e pouso.
- **Multirotores:** categoria mais comum, caracterizada por quatro ou mais rotores que permitem decolagem e pouso vertical. São altamente manobráveis e ideais para operações em áreas confinadas ou urbanas.

- **Dirigíveis e Balões:** utilizam gases mais leves que o ar para sustentação. Embora tenham baixa agilidade, são eficazes em missões de longa duração e monitoramento estacionário.

b) **Por Nível de Autonomia**

- **Autônomos:** executam suas rotas e tarefas de forma independente, com base em algoritmos de navegação e sensores embarcados.
- **Semi-autônomos:** operam com autonomia parcial, permitindo intervenções humanas em situações críticas ou decisivas.
- **Remotamente controlados:** dependem integralmente de um operador que comanda o voo em tempo real por meio de estações de controle.

A tipologia dos drones diz respeito às finalidades específicas para as quais são empregados e às tecnologias que neles podem ser embarcadas para atendimento dessas finalidades que possuem relação direta com as suas capacidades. Entre essas tecnologias estão os diversos tipos de sensores que embarcados ampliam a capacidade de observação e análise de dados. Entre os usualmente empregados, destacam-se (FAGUNDES; IESCHECK, 2019):

- **Câmeras RGB:** capturam imagens em cores visíveis com alta resolução, úteis para inspeções visuais e levantamento fotogramétrico.
- **Câmeras Multiespectrais e Hiperespectrais:** registram a radiação refletida em diferentes comprimentos de onda (visível, infravermelho, etc.), sendo essenciais para monitoramento ambiental, identificação de culturas e análise de saúde vegetal.
- **Câmeras Térmicas:** detectam padrões de calor, permitindo localizar pessoas, animais ou fontes de calor mesmo em baixa visibilidade.
- **Sensores LiDAR (Light Detection and Ranging):** utilizam pulsos laser para medir distâncias e criar modelos tridimensionais de superfícies com alta precisão.
- **Sensores GNSS/IMU:** combinam dados de posicionamento por satélite (GNSS) com informações inerciais (IMU), conferindo ao drone maior precisão de navegação e estabilidade de voo.

5.7.2 Utilização de Drones no caráter operativo do contexto miliar

O emprego de drones em operações militares tornou-se uma das mais significativas transformações tecnológicas da guerra moderna. Inicialmente utilizados para reconhecimento e

observação em território inimigo, esses dispositivos evoluíram para plataformas multifuncionais, capazes de executar missões de vigilância, ataque de precisão, designação de alvos, logística, apoio a tropas terrestres e neutralização de ameaças assimétricas (PRUDKIN; BREUNIG, 2019).

Entre os tipos de aeronaves mais utilizados em aplicações militares destacam-se os drones de asa fixa, pela sua maior autonomia e alcance, e os multimotores, pela sua capacidade de manobra e operação em ambientes urbanos e confinados. Essa diversidade de plataformas permite atender a uma ampla gama de operações, do nível tático ao estratégico (TAVARES; SILVA, 2017).

Durante a Guerra do Afeganistão e a invasão do Iraque, os sistemas aéreos não tripulados consolidaram-se como ferramentas essenciais para coleta de informações, realizando observação persistente com sensores ópticos e infravermelhos, integrados a sistemas de comunicação criptografados. A evolução desse emprego pode ser observada com maior nitidez no conflito da Ucrânia, iniciado em 2022, no qual os drones assumiram protagonismo tático e estratégico (TAVARES; SILVA, 2017).

De acordo com o U.S. Army TRADOC (2024), a Guerra da Ucrânia introduziu um modelo inédito de emprego massivo e descentralizado de drones comerciais adaptados, resultando em uma "guerra de drones" caracterizada por inovação, improvisação e saturamento tecnológico. Pequenos SARP de curto alcance, como os quadricópteros FPV (do inglês, *First Person View*), foram adaptados para funcionar como munições suicidas, transportando granadas ou explosivos improvisados em ataques de precisão contra tanques, trincheiras e concentrações de tropas. Em paralelo, drones maiores como o Orlan-10 e o Shahed-136 têm sido empregados para reconhecimento, guerra eletrônica e ataques de longo alcance (TRADOC, 2024, p. 4).

Ainda segundo o TRADOC (2024), "o uso dos SARP transformou a natureza da guerra convencional ao permitir vigilância persistente, precisão de fogo de artilharia guiada por coordenadas visuais e a supressão de sistemas de comunicação inimigos por meio de guerra eletrônica embarcada". A disseminação dessa tecnologia tem sido favorecida pelo baixo custo, facilidade de aquisição e adaptação de drones civis às finalidades militares (TRADOC, 2024, p. 4).

Essas mudanças operacionais são resultado de diversos fatores, como a escassez de munições, a busca por redução de baixas humanas, a ampliação da guerra eletrônica (EW) e o custo-benefício das plataformas comerciais adaptadas. A incorporação de recursos como visão computacional, aprendizado de máquina e sensores de alta definição tem aumentado significativamente a precisão e a efetividade dessas operações (EPRS, 2025).

5.8 DRONES NA ATIVIDADE DE RECONHECIMENTO DE AGENTES NBQR

O emprego de Drones em operações de reconhecimento NBQR tem emergido como uma alternativa tecnológica estratégica e eficaz diante da crescente complexidade dos cenários de ameaças contemporâneas. A utilização desses sistemas busca minimizar a exposição de operadores humanos a ambientes contaminados, além de fornecer dados rápidos e precisos para a tomada de decisão em operações táticas.

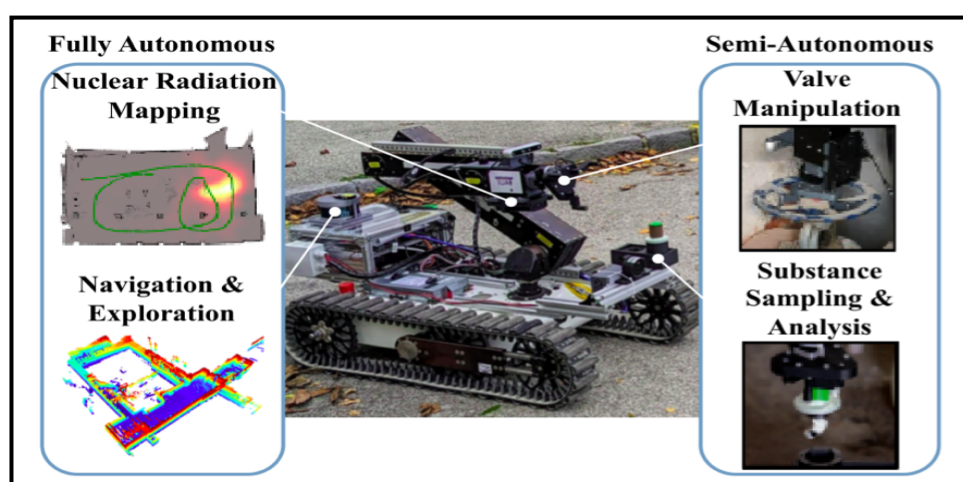
As vantagens operacionais dos drones em contextos NBQR derivam principalmente de sua capacidade de operar nas zonas contaminadas, realizar varreduras sistemáticas e transmitir informações em tempo real para as células de comando. Tais capacidades são especialmente relevantes pois as missões frequentemente envolvem operações de resposta imediata e em áreas de difícil acesso.

Estudos demonstram que os drones podem ser equipados com sensores capazes de detectar agentes NBQR com alta precisão. No projeto europeu Químico, Biológico, Radiológico e Nuclear (do inglês, *Chemical Biological Radiological Nuclear Surveillance Reconnaissance Surveillance System – (CBRN-RSS)*), por exemplo, drones integrados com sensores e sistemas de fusão de dados permitiram reduzir o tempo de resposta em operações de reconhecimento NBQR de duas horas para cerca de 40 minutos, evitando a exposição direta dos militares ao agente contaminante (FREQUENTIS, 2024).

A literatura científica também confirma a eficácia desses sistemas. Martellucci et al. (2021) propõem o uso de enxames de drones para a detecção de plumas químicas e localização da origem dessa fonte de contaminação, demonstrando que essa abordagem pode ser mais rápida, segura e econômica do que métodos convencionais. Os sensores acoplados a drones também têm sido otimizados por simulações de dinâmica de fluidos, como no estudo de Marturano et al. (2020), permitindo identificar os melhores pontos de instalação dos sensores e evitar interferências provocadas pelas hélices.

Ainda, sistemas de veículos não tripulados já foram validados por forças armadas, como no caso do Exército Alemão e Canadense, para tarefas de reconhecimento e monitoramento de ambientes contaminados, confirmando a viabilidade técnica e operacional do conceito. Tais sistemas incluem sensores intercambiáveis e comunicação segura, podendo realizar medições prolongadas, coleta de amostras e monitoramento da intensidade da contaminação (RÖHLING et al., 2015). Um sistema robótico integrado com mapeamento de geometria e radiação, amostragem e análise de substâncias químicas é apresentado na Figura 4.

Figura 4: Sistema robótico integrado com mapeamento de geometria e radiação, amostragem e análise de substâncias químicas



Fonte: SCHWAIGER, Simon; MUSTER, Lucas, 2024. Disponível em <https://arxiv.org/abs/2406.14385>

No contexto da guerra na Ucrânia, também foi observada a aplicação de drones em cenários com riscos NBQR. Conforme relatado pelo Corpo Químico do Exército dos EUA (*U.S. Army Chemical Corps*), os SARP foram utilizados para iluminar áreas contaminadas e fornecer suporte ao comando tático, fortalecendo as capacidades do reconhecimento NBQR em um cenário real de combate (U.S. ARMY, 2022).

Contudo, alguns desafios persistem, como a necessidade de garantir a comunicação segura dos dados, o gerenciamento da autonomia energética dos SARP, e a proteção dos sensores contra interferências externas. Outra questão crítica é a descontaminação dos equipamentos após o uso em zonas de alto risco, o que demanda soluções modulares ou descartáveis em determinadas missões (GOUVEIA-CARVALHO et al., 2015).

Portanto, a aplicação de drones nas atividades de reconhecimento NBQR representa uma evolução doutrinária significativa, com benefícios operacionais claros e alinhados aos princípios priorizados por essa atividade. A utilização de SARP proporciona maior tempestividade na coleta e transmissão de dados sobre áreas contaminadas, acelerando a tomada de decisões críticas. Além disso, permite garantir maior segurança para a equipe de reconhecimento, ao permitir um maior afastamento do elemento humano das zonas contaminadas, reduzindo drasticamente a exposição aos agentes NBQR. Com a possibilidade de operar em voos autônomos ou controlados remotamente, os drones asseguram a continuidade do reconhecimento mesmo em ambientes hostis, mantendo a vigilância persistente sobre o terreno.

Sua capacidade de sobrevoar obstáculos e áreas de difícil acesso garante ampla cobertura, fator essencial em incidentes de larga escala, como acidentes industriais ou ataques com agentes NBQR em instalações subterrâneas. Por fim, a instrumentação embarcada – como sensores químicos, espectrômetros, detectores de radiação e câmeras térmicas – contribui para a objetividade, oferecendo dados quantificáveis e georreferenciados que auxiliam na identificação precisa da ameaça e na definição da área de isolamento das zonas contaminadas.

6 ESTUDO DE CASOS DE DOCTRINAS INTERNACIONAIS

Este capítulo apresenta uma análise técnica-operacional sobre o emprego de drones no contexto da Defesa NBQR sob a ótica das doutrinas e experiências internacionais. O foco recai sobre países e organizações com ampla documentação doutrinária e operacional consolidada, particularmente a OTAN, os Estados Unidos e a Ucrânia. A análise está estruturada em três eixos: doutrinas internacionais, lições aprendidas e avaliação de eficácia.

6.1 O EMPREGO DE DRONES NA DEFESA NBQR NO CONTEXTO INTERNACIONAL

6.1.1 Organização do Tratado do Atlântico Norte - OTAN

A OTAN possui diretrizes robustas para operações de Defesa NBQR, consolidadas na publicação AJP-3.8 e operacionalizadas por meio do Grupo Conjunto de Desenvolvimento de Capacidades de Defesa (do inglês, *Joint CBRN Defence Capability Development Group* (JCBRN-CDG)). O uso de SARP é incorporado como vetor essencial de proteção e resposta, sobretudo para reconhecimento e vigilância em ambientes contaminados. Exercícios

multinacionais como o “*Toxic Trip*” que acontecem anualmente envolvendo as forças armadas de diversos países membros da OTAN demonstraram recentemente a aplicação de drones equipados com sensores NBQR para mapeamento de contaminação e avaliação de terreno, promovendo interoperabilidade entre forças aliadas e validando a sua eficácia operacional (JCBRN Defence COE, 2023).

6.1.2 Estados Unidos

Os Estados Unidos apresentam uma doutrina avançada para emprego de drones em ambientes sobre ameaça NBQR, integrando tais sistemas em sua arquitetura de “*Integrated Deterrence*”. Tecnologia como o *CBRN Sensor Integration on Robotic Platform (CSIRP)* que é desenvolvido em parceria com a empresa DRAPER, laboratório é especializado no projeto, desenvolvimento e implantação de soluções de tecnologia avançada para problemas de segurança nacional, exploração espacial, saúde e energia, e em conjunto com o Programa de defesa *Joint CBRN Defense* demonstram a aplicação de SARP com sensores especializados que os capacitam de operar de forma autônoma em zonas contaminadas, sendo capazes de detectar risco de ameaça NBQR até mesmo em ambientes pequenos e desordenados. A *Defense Threat Reduction Agency (DTRA)* é responsável por iniciativas que envolvem a adaptação de plataformas como o ARP MQ-9 Reaper e o uso de sistemas terrestres robotizados complementares para resposta NBQR, capacitando, dessa forma, a realização de procedimentos coordenados autônomos de reconhecimento NBQR entre drones e robôs (UNITED STATES, 2005; DTRA, 2022). A Figura 5 apresenta a Integração de sensores CBRN em Plataforma Robótica (CSIRP).

Figura 5: CSIRP - integração entre SARP e sensores NBQR.



Fonte: <https://www.draper.com/media-center/featured-stories/detail/25394/cbrn-sensor-integrated-on-robotics-platform-csirp>

6.1.3 União Europeia

A União Europeia tem atuado de forma complementar à OTAN na preparação e resposta a ameaças NBQR. Através de programas como o *Permanent Structured Cooperation* (PESCO) e do *Horizon Europe*, a União Europeia (UE) financia projetos de inovação e integração tecnológica para vigilância e resposta a eventos NBQR com o uso de drones. Os esforços são coordenados com o Centro de Excelência de Defesa NBQR (JCBRN COE), incluindo participação em treinamentos multinacionais e o desenvolvimento de doutrinas interoperáveis. As diretrizes da UE enfatizam a interoperabilidade civil-militar e a resposta rápida em apoio à resiliência crítica, especialmente em contextos de segurança híbrida e emergências civis.

6.1.4 Ucrânia

A experiência recente da Ucrânia, documentada por órgãos como a *Defense Intelligence Agency* (DIA), evidencia o uso adaptativo de drones em ambientes hostis e contaminados. Durante o conflito com a Rússia, a Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), comerciais modificados, como os modelos R18 e Baba Yaga, foram empregados em missões de reconhecimento e vigilância NBQR, operando com sensores simples e integração via rede Starlink. Essa abordagem ilustra uma solução eficaz e de baixo custo frente à escassez de recursos, com elevado impacto tático (DIA, 2024).

6.2 LIÇÕES APRENDIDAS E BOAS PRÁTICAS OPERACIONAIS

As experiências internacionais analisadas convergem em torno de três boas práticas principais:

- **Redução do risco humano:** O uso de SARP evita a exposição direta de tropas a agentes contaminantes, como demonstrado nos exercícios da OTAN e na guerra da Ucrânia;
- **Interoperabilidade e padronização:** As operações da OTAN enfatizam a necessidade de doutrina comum e uso de plataformas compatíveis, facilitando o compartilhamento de dados e a resposta conjunta; e
- **Emprego modular e adaptável:** A experiência ucraniana mostra a eficácia do uso de drones comerciais adaptados, integrados com sensores táticos e sistemas de comando descentralizado.

A Tabela 2 permite uma melhor visualização de como chegaram a essas boas práticas, apresentando de forma ilustrativa a comparação do foco doutrinários e as lições aprendidas no emprego da doutrina.

Tabela 2: Comparativo de Foco Doutrinário.

País/Organização	Foco Doutrinário	Plataformas Utilizadas	Integração C2	Lições Principais
OTAN	Interoperabilidade	Multirrotadores e asa fixa	Padrão OTAN (AJP-3.8)	Padronização, exercícios multinacionais
Estados Unidos	Capacidade Autônoma e integrada	MQ-9 Reaper e robôs terrestres	Arquitetura JTRS e DTRA	Integração CBRN e sensores autônomos
Ucrânia	Adaptação operacional	Drones comerciais modificados	Comunicação via Starlink	Soluções de baixo custo e alta eficácia
União Europeia	Cooperação civil-militar	Plataformas modulares e ISR	Estrutura PESCO/COE	Integração em crises híbridas e civis

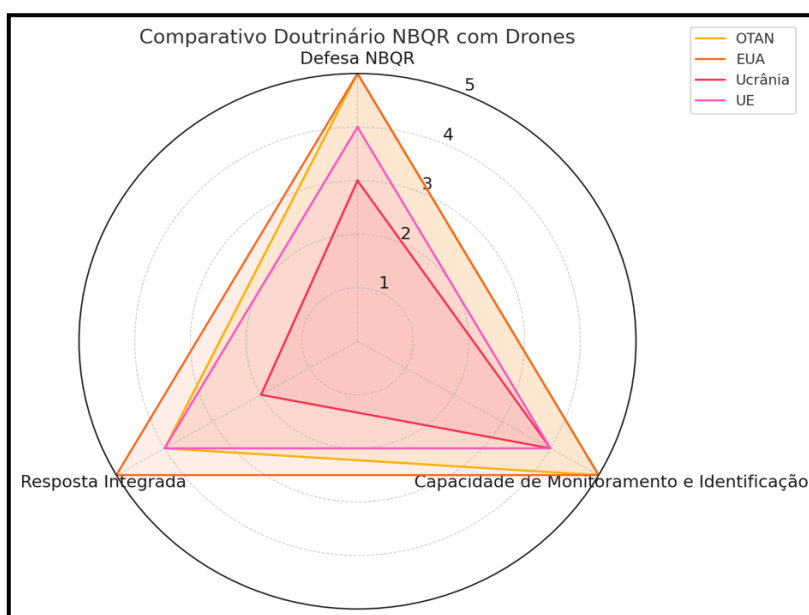
Fonte: O Autor (2025).

6.3 AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS, MÉTODO DE EMPREGO, TREINAMENTO E INTEGRAÇÃO COM SISTEMAS DE COMANDO E CONTROLE (C2)

Com base no que foi exposto neste capítulo até o momento e no estudo da capacidade de defesa NBQR das doutrinas analisadas, pode-se comparar suas capacidades doutrinárias com fundamento em três dimensões que refletem os pilares operacionais mais recorrentes no emprego de drones no contexto da defesa NBQR. A primeira delas é a própria defesa NBQR que se refere à capacidade de proteção ativa e passiva de tropas e civis contra agentes NBQR. Em seguida, destaca-se a Capacidade de Monitoramento e Identificação que abrange o uso de sensores embarcados em Drones para detecção, identificação e monitoramento de agentes NBQR. Por fim, a Resposta Integrada que se relaciona à capacidade de transformar os dados obtidos pelos Drones em informação operacional por meio de integração com sistemas de comando e controle (C2) e que pode ser tempestivamente transmitida em tempo real.

A Figura 6 representa um gráfico radar que foi construído para melhor ilustrar essa comparação das doutrinas analisadas, apresentando uma pontuação de escala de 1 (incipiente) a 5 (maduro) dessas três dimensões para cada doutrina:

Figura 6: Gráfico Comparativo Dimensional



Fonte: O Autor 2025 (Adaptado de EPRS (2025); JCBRN Defence COE (2023); MARTELLUCCI et al. (2021))

No que diz respeito as dimensões “Resposta Integrada” e “Capacidade de Monitoramento e Identificação”, a literatura técnica e os manuais operacionais destacam quatro campos centrais que se relacionam diretamente com eficácia dos SARP em operações de reconhecimento de agentes NBQR:

- **Sensores e cargas úteis:** O uso de espectrômetros de massa, detectores de radiação gama (NaI) e sensores químicos (MOX) são essenciais para realizar o reconhecimento de ambientes contaminados e a identificação do agente envolvido na contaminação. Evidencia-se a necessidade de miniaturização desses equipamentos para compensar a relação entre peso e mobilidade de voo (MARTELLUCCI et al., 2021).
- **Integração com C2:** A interoperabilidade é viabilizada por enlaces seguros, protocolos como o Link-16 e arquitetura baseada em JTRS. Além disso, a possibilidade de integração via rede Starlink permite maior flexibilidade em situações com a estrutura logística degradada (UNITED STATES, 2005).
- **Treinamento e doutrina:** Treinamentos padronizados (como os conduzidos pela OTAN), especialização de operadores, integração com as equipes táticas de reconhecimento e exercícios com simulação realista são cruciais para a eficácia do emprego operacional (JCBRN Defence COE, 2023).
- **Métodos de emprego:** O uso coordenado de SARP para identificação e coleta de dados de agentes NBQR, associado à análise e transmissão em tempo real desses dados, permite maior agilidade na tomada de decisão em campo.

7 FATORES FAVORÁVEIS E DESFAVORÁVEIS PARA A IMPLANTAÇÃO NA DOUTRINA

Diante do que foi exposto nos capítulos anteriores desse trabalho, depreende-se que a adoção de SARP nas atividades de reconhecimento NBQR representa um avanço estratégico significativo para os PelRecNBQR do CFN. Mas essa incorporação tecnológica também pode apresentar desafios que impactam desfavoravelmente para a força e que devem ser superados.

7.1 VANTAGENS OFERECIDAS NO NÍVEL TÁTICO – OPERACIONAL

Do ponto de vista tático-operacional, o emprego de drones de reconhecimento NBQR permite antecipar a detecção e monitoramento de áreas potencialmente contaminadas, acelerando o ciclo de decisão e ação. Ao sobrevoar zonas de risco com autonomia ou por controle remoto, os SARP proporcionam vigilância contínua, mesmo em cenários de difícil acesso, como ambientes urbanos confinados ou estruturas subterrâneas. Essa capacidade é particularmente relevante em incidentes de grande escala, como vazamentos industriais, ataques com agentes NBQR em infraestruturas críticas.

Além disso, os drones possibilitam que os militares do GpRecNBQR mantenham uma distância segura da fonte de contaminação antes de ter a certeza de que agente especificamente se trata, reduzindo drasticamente a exposição direta aos agentes e, conseqüentemente, os riscos à saúde dos militares. A prévia e rápida identificação do agente, também possibilita a escolha do uso adequado do equipamento de proteção individual (EPI) a ser utilizado pelo grupo na fase de contenção e coleta do agente pois a vestimenta varia conforme as características físico-químicas deste. Tal fator contribui para preservar o poder de combate da unidade e mitigar o cansaço e as perdas operacionais em missões de alta periculosidade.

No contexto específico do CFN, cuja doutrina valoriza a prontidão, a manobrabilidade e a resposta em curto prazo, os drones também agregam vantagens táticas decisivas como:

- **Aumento da cobertura e rapidez na varredura de áreas extensas**, facilitando a definição de zonas de exclusão e corredores seguros;
- **Aquisição de dados georreferenciados e objetivos**, por meio de sensores embarcados como espectrômetros, detectores de radiação, câmeras térmicas e sensores químicos;
- **Capacidade de operar em condições adversas**, incluindo baixa visibilidade, ruínas estruturais ou áreas saturadas por agentes contaminantes;
- **Integração com os sistemas de comando e controle (C2)**, permitindo a transmissão em tempo real de dados ao escalão superior e às demais frações de manobra.

Tais atributos fortalecem o desempenho do SisDefNBQR-MB, especialmente no que se refere à fase inicial de reconhecimento e avaliação de riscos. Com isso, o PelRecNBQR amplia sua efetividade como fração precursora, capaz de identificar com rapidez e precisão os níveis de ameaça e orientar as ações subseqüentes de contenção, isolamento, descontaminação e evacuação.

7.2 DESAFIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DOUTRINÁRIA

7.2.1 Desafios Técnicos

Um desafio técnico significativo é a necessidade de miniaturizar e integrar eficientemente sensores avançados como espectrômetros de massa, detectores gama e sensores químicos MOX. Esses dispositivos devem ser leves e compactos o suficiente para não comprometer a capacidade operacional dos SARP que possivelmente e, ao mesmo tempo, manter alto nível de precisão nas medições e detecções de agentes NBQR.

Outro fator técnico importante é a interferência aerodinâmica causada pelas hélices dos drones, que pode afetar a precisão das medições dos sensores embarcados. Esse problema exige um planejamento cuidadoso e um posicionamento estratégico dos dispositivos de detecção para minimizar ou eliminar a influência negativa das turbulências geradas durante o voo.

Também é essencial garantir sistemas de comunicação robustos e resistentes à interferência para assegurar que os dados obtidos sejam transmitidos com segurança e em tempo real para os operadores. Esses sistemas precisam ser capazes de operar eficazmente em ambientes hostis e contaminados, onde interferências eletromagnéticas são comuns e podem comprometer a integridade das informações transmitidas (MARTURANO et al., 2020).

Adicionalmente, é obrigatório atender aos requisitos da certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) devido a possibilidade de operação em atmosferas explosivas. Essa certificação garante que drones e componentes não se tornem fontes de ignição em ambientes onde existem gases, vapores inflamáveis ou poeiras explosivas, assegurando a segurança das operações e prevenindo riscos adicionais em contextos NBQR, nos quais a possibilidade de explosões representa um perigo significativo.

7.2.2 Desafios Doutrinários

A implementação operacional dos drones pode enfrentar desafios doutrinários importantes que envolvem o desenvolvimento de doutrinas específicas e detalhadas capazes de integrar efetivamente o uso de drones às operações táticas tradicionais do CFN. Além disso, é necessária a padronização dos procedimentos operacionais e a interoperabilidade entre os drones e os demais sistemas existentes de Defesa NBQR.

Uma possível barreira para a consolidação doutrinária no âmbito do CFN reside na ausência de procedimentos padronizados de descontaminação específicos para as plataformas não tripuladas. Como esses meios operarão diretamente em zonas contaminadas —

muitas vezes sendo os primeiros a ingressar em áreas com presença confirmada ou suspeita de agentes NBQR — torna-se imperativo garantir que, ao retornarem à base ou à área segura, **não** se transformem em vetores secundários de contaminação.

Outro desafio crítico é a formação e o treinamento especializado das equipes operacionais, assegurando a proficiência necessária para o emprego eficaz desses sistemas, garantindo que os operadores possam explorar plenamente as capacidades tecnológicas dos drones em cenários NBQR (JCBRN Defence COE, 2023).

7.2.3 Desafios Logísticos

Os desafios logísticos para o emprego efetivo de drones no CFN envolvem a manutenção especializada e periódica das plataformas e dos sensores embarcados, a fim de garantir sua plena operacionalidade durante as missões. Também é fundamental uma gestão eficiente das baterias e fontes de energia, visando assegurar autonomia operacional prolongada e reduzir o risco de falhas durante operações críticas.

Além disso, destaca-se a importância da infraestrutura de apoio adequada para lançamento e recuperação segura dos drones em ambientes táticos diversos e potencialmente adversos, garantindo assim a segurança operacional e a continuidade das missões em condições variadas (SZKLARSKI, 2024).

Por fim, uma possível limitação orçamentária devido aos elevados custos de aquisição e manutenção desses sistemas pode atrasar ou até mesmo impedir uma implementação efetiva da doutrina operacional dos drones NBQR no CFN, exigindo um planejamento financeiro criterioso e uma estratégia de aquisição que priorize o custo-benefício e a eficiência operacional.

7.3 POSSIBILIDADE DE INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA COM O SETOR COMERCIAL

A integração de drones comerciais de alto desempenho, mesmo não projetados para fins militares, representa uma oportunidade estratégica importante para o CFN. No Brasil, o uso desses equipamentos já é comum em áreas como infraestrutura, agricultura, segurança e ações humanitárias. Adaptar essas tecnologias comerciais ao contexto da Defesa NBQR pode

acelerar a introdução de capacidades avançadas, como sensores de detecção de agentes e sistemas de comunicação segura (CORREIA, 2018; VEIGA, 2016).

A experiência da Ucrânia evidenciou as vantagens e limitações da integração de drones comerciais em cenários de combate. Durante o conflito com a Rússia, drones de pequeno porte foram adaptados para reconhecimento, vigilância e ataques pontuais, graças ao baixo custo e rápida aquisição. Contudo, enfrentaram problemas de autonomia, resistência e segurança de comunicações, exigindo constantes improvisações técnicas (U.S. Army TRADOC, 2024).

Entre as vantagens do uso de drones civis estão o acesso rápido a tecnologias avançadas, custos reduzidos em relação aos sistemas militares e o dinamismo do mercado comercial. Por outro lado, há limitações importantes: vulnerabilidade a interferências eletrônicas, dificuldades de adaptação aos padrões militares e riscos à segurança operacional.

Portanto, o uso de Drones COTS “*Commercial Off-The-Shelf*”, termo utilizado para denominar aeronaves remotamente pilotadas desenvolvidas originalmente para o mercado civil ou comercial, pode ser uma solução eficiente e econômica para preencher lacunas operacionais do CFN. Entretanto, essa alternativa demanda protocolos rigorosos de controle, treinamento especializado e modificações técnicas para mitigar riscos cibernéticos, garantir resiliência e preservar a eficácia em ambientes NBQR.

8. PROPOSTA DE ELABORAÇÃO DE DIRETRIZES PARA A IMPLANTAÇÃO CONCEITUAL NA DOUTRINARIA

Com base na análise realizada durante o desenvolvimento desse trabalho, evidencia-se a importância do conceito apresentado e sua significância para o CFN. Para reconhecer essa importância e oferecer maturidade para que o conceito seja implantado, pode-se usar o raciocínio do filósofo Pirró Longo (1984) que adaptado ao contexto do emprego de drones NBQR pelo CFN fornece um modelo coerente que ressalta a necessidade da formulação de uma diretriz de implantação doutrinária. De acordo com Longo, o desenvolvimento tecnológico ocorre em três estágios:

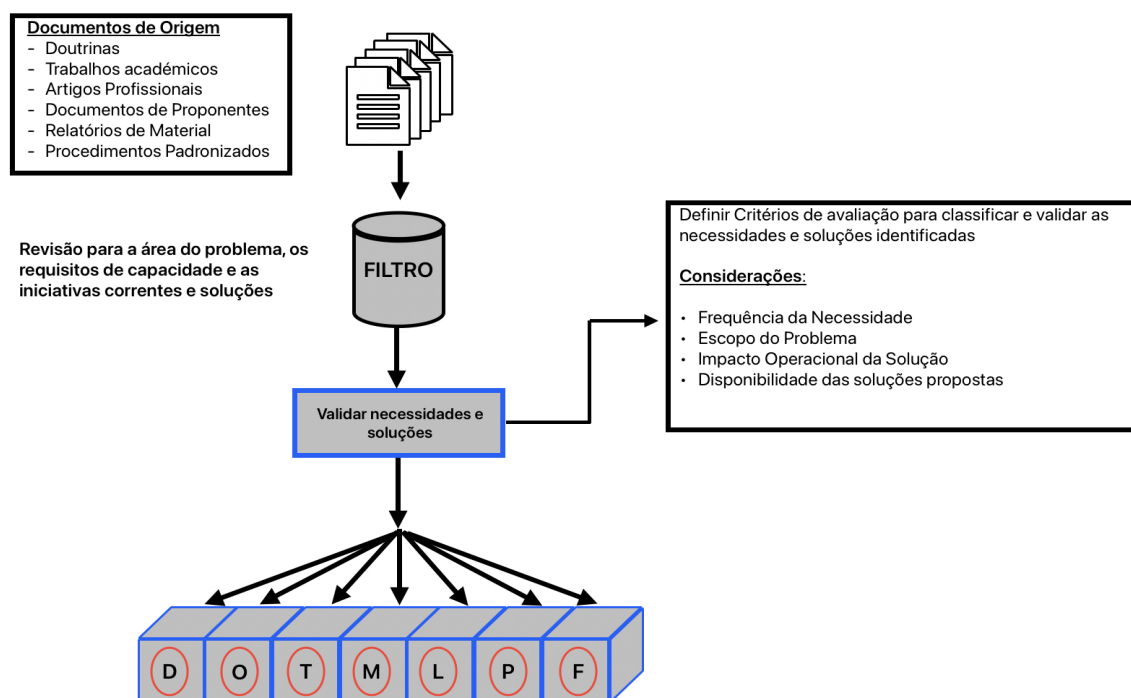
- (1) a concepção racional da necessidade;
- (2) a formulação técnico-operacional da solução, e

(3) a materialização produtiva do conceito.

No caso do CFN, a primeira etapa se manifesta na identificação da limitação das capacidades humanas em operar com segurança em ambientes contaminados NBQR. A segunda etapa pode ser traduzida no planejamento do emprego de drones dotados de sensores especializados como solução operacional, exigindo integração com sistemas C2, adequação logística e normatização técnica. A terceira etapa requer a produção, aquisição e validação prática desses meios, assegurando sua plena operacionalidade por meio de treinamento e procedimentos específicos. Essa sequência estruturada assegura que o processo de inovação tecnológica esteja alinhado às necessidades estratégicas da Força e que o conhecimento gerado se traduza em capacidades reais para o combate e proteção.

Após esse reconhecimento da necessidade de implantar esse conceito no CFN, é viável elaborar uma diretriz que irá orientar o planejamento desse processo de implantação. Uma metodologia que pode ajudar nessa tarefa é a DOTMLPF (Doutrina, Organização, Treinamento, Materiais, Liderança, Pessoal e Infraestrutura) que é uma estrutura analítica adotada principalmente pelas Forças Armadas dos Estados Unidos e amplamente utilizada por organizações militares ao redor do mundo, com o objetivo de identificar lacunas e propor soluções integradas no desenvolvimento de capacidades militares. A figura 7 representa graficamente como é estruturado o processo DOTMLPF.

Figura 7: Infográfico do processo DOTMLPF



Fonte: O Autor 2025 - Adaptado de (JOHNSON, 2016).

Esse método, conforme ilustrado, origina-se a partir da análise e validação de informações extraídas de múltiplas fontes — como doutrinas, artigos técnicos, relatórios de material e procedimentos padronizados. Esses documentos alimentam um “filtro analítico” formado por profissionais que ficam responsáveis por revisar a área do problema, os requisitos de capacidade existentes e as soluções já identificadas no âmbito da Defesa NBQR. Após essa etapa, as necessidades e soluções são validadas e classificadas segundo critérios previamente definidos, como frequência da necessidade, escopo do problema, impacto operacional e disponibilidade de soluções. As informações resultantes alimentam então os sete eixos do modelo DOTMLPF (Doutrina, Organização, Treinamento, Material, Liderança, Pessoal e Infraestrutura), garantindo uma abordagem integrada e coerente com um planejamento baseado em capacidade. Dessa forma, o CFN consegue consolidar uma diretriz doutrinária sólida, baseada em evidências e ajustada à sua realidade operacional, assegurando a viabilidade técnica e estratégica da adoção de Drones de reconhecimento NBQR. A Tabela 3 apresenta possíveis eixos de saída que poderia balizar uma diretriz com a aplicação desse método DOTMLPF conforme a problemática apresentada pelo trabalho.

Tabela 3: Modelo DOTMLPF.

DOTMLPF	
Doutrina	Incluir o uso de VANTs NBQR em manuais táticos e operacionais do CFN, com protocolos de atuação para cada tipo de agente (N, B, Q, R)
Organização	Criar subunidades dedicadas à operação de drones dentro dos PelRecNBQR ou integrar operadores certificados aos grupos existentes
Treinamento	Estabelecer programas de capacitação continuada em operação de VANTs e interpretação de dados gerados por sensores remotos
Materiais	Adquirir drones resistentes a ambientes hostis, com sensores NBQR embarcados e capacidade de transmissão de dados em tempo real
Liderança	Designar oficiais responsáveis por projetos de inovação NBQR, com autoridade para propor melhorias e avaliar desempenho operacional
Pessoal	Selecionar e especializar militares com perfil técnico para formação como operadores e analistas de sensoriamento remoto
Infraestrutura	Adaptar bases logísticas com áreas para manutenção, recarga e armazenamento seguro de drones e sensores específicos

Fonte: O Autor (2025)

Na parte doutrinária, pode-se destacar importantes aspectos a serem protocolizados. Os fluxos operacionais a serem seguidos pelos drones, por exemplo, devem ser operacionalizados com capacidade de seguir sequências padronizadas para reconhecimento inicial, reconhecimento detalhado e monitoramento contínuo. Estes fluxos devem ser integrados aos procedimentos existentes do PelRecNBQR, proporcionando capacidades complementares sem comprometer procedimentos estabelecidos.

Reconhecimento Inicial: Emprego de drones para caracterização preliminar de áreas suspeitas, estabelecimento de perímetros de segurança, e orientação para emprego de equipes terrestres.

Reconhecimento Detalhado: Utilização de drones equipados com sensores especializados para mapeamento detalhado de contaminação e coleta de dados para análise.

Monitoramento Contínuo: Emprego de drones para monitoramento de longo prazo de áreas contaminadas e acompanhamento da evolução da situação.

Adicionalmente, no eixo Pessoal, é considerável pensar em uma proposta de composição de uma Célula SARP para cada GpRecNBQR do PelRecNBQR, proporcionando capacidades complementares sem comprometer a organização estabelecida. A composição sugerida inclui as seguintes atribuições:

- Chefe da Célula SARP (Oficial ou Suboficial especializado)
- Operador de SARP (Sargentos ou Cabos treinados)
- Analista de Dados (Sargentos especializados em Defesa NBQR)
- Técnico de Manutenção (Cabo ou Soldado especializado)

Por fim, no treinamento, sugere-se que sejam previstas atualizações dos cursos de especialização dos militares, incluindo formação básica em operação de SARP e especialização nos novos sensores de identificação NBQR que forem acoplados aos drones. Além disso, é importante prever programas de treinamentos práticos para consolidar uma implantação eficiente.

Após a formulação de uma diretriz a ser seguida, é viável que a inserção doutrinária dos drones de reconhecimento NBQR no CFN ocorra em conformidade com um planejamento estratégico estruturado em fases e prazos. Para isso, propõe-se a formulação de um Roadmap que deve estar alinhado com as políticas estratégicas da MB, contribuindo para capacidades expedicionárias e modernização do CFN. A Tabela 4 pode balizar a ilustração de um possível planejamento nesse contexto:

Tabela 4:Sugestão de RoadMap.

Prazo	Atividades Propostas	Resultados Esperados
Curto	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de diretrizes doutrinárias; e • Capacitação inicial; 	Doutrina inicial consolidada, operadores treinados.
Médio	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento tecnológico; • Refinamento de procedimentos; • Ensaios operacionais; e • Validação. 	Drones validados em campo, protocolo integrado.
Longo	<ul style="list-style-type: none"> • Doutrina consolidada; e • Revisão normativa contínua. 	Drones de reconhecimento NBQR integrado à doutrina CFN

Fonte: O Autor (2025).

8.1 DIRETRIZ DE ESCALA DE NÍVEL DE PRONTIDÃO TECNOLÓGICA PESQUISA & DESENVOLVIMENTO

A instituição pode preferir pela pesquisa e desenvolvimento do projeto por inteiro, no lugar de tentar a aquisição do meio já pronto. Para guiá-la na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia relacionada, pode ser adotada a Escala de Nível de Prontidão Tecnológica (do inglês, *Technology Readiness Level – TRL*), conforme metodologia apresentada por Girardi et al. (2022). A TRL permite mensurar o grau de maturidade de uma tecnologia, desde o conceito inicial até sua integração operacional plena. Ela é amplamente utilizada no setor comercial e sua adaptabilidade para pesquisa e desenvolvimento de tecnologia militar pode oferecer grandes vantagens

A escala varia de **TRL 1** (observação de princípios básicos) até **TRL 9** (sistema comprovado em missão real). A aplicação dessa metodologia à realidade do CFN possibilita um acompanhamento sistemático e objetivo das fases de desenvolvimento dos drones de reconhecimento NBQR, identificando os estágios de validação técnica laboratorial, testes em ambiente simulado, experimentações em campo e implantação definitiva. A diretriz deverá estabelecer critérios claros para transição entre os níveis, permitindo que apenas tecnologias devidamente testadas e aprovadas avancem para as fases seguintes, garantindo segurança, eficiência e confiabilidade operacional (Girardi et al, 2022).

Os níveis 1 e 2 referem-se à pesquisa básica, tradicionalmente conduzida em faculdades e universidades. O desenvolvimento experimental abrange os níveis 3 a 7, geralmente realizado em centros tecnológicos, fora do ambiente acadêmico. As etapas 3, 4 e 5

correspondem à pesquisa aplicada com suporte de engenharia, caracterizando-se por condições de produção ainda não industriais. Já os níveis 6 e 7 relacionam-se ao desenvolvimento tecnológico realizado no âmbito industrial, com adaptações específicas. A partir do nível 8, têm início as fases consolidadas de produção e comercialização (Girardi et al, 2022). A Tabela 5 apresenta a Sugestão de Escala de Nível de Prontidão Tecnológica (TRL).

Tabela 5: Sugestão de Escala de Nível de Prontidão Tecnológica (TRL)

Nível TRL			Descrição
1	Pesquisa Básica (Universidades)	Pesquisa Básica	Princípios básicos observados e relatados / modelagem teórica: estudos documentados versando sobre princípios científicos básicos, em que potenciais aplicações possam ser identificadas.
2		Formulação da Tecnologia	Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulada: estudos documentados que analisam aplicações específicas do objeto (análise de funcionalidades, desempenho e identificação de experimentos).
3	Pesquisa Aplicada (Centros Tecnológicos)	Pesquisa Aplicada	Função crítica experimentada e analisada em ambiente laboratorial: estudos documentados de experimentos demonstrando a viabilidade de aplicação do objeto em ambiente simulado de alta fidelidade (especificação de funcionalidades, desempenho e realização de experimentos).
4		Teste em escala Reduzida	Prova de conceito validada em ambiente laboratorial: funções críticas do objeto, implementadas em uma prova de conceito, são testadas em ambiente laboratorial.
5		Teste em escala Piloto	Modelo de engenharia validado em ambiente relevante: funções críticas do objeto, implementadas em um modelo de engenharia, são testadas em ambiente relevante.
6	Desenvolvimento Tecnológico (Centros de P&D)	Protótipo em teste	Demonstrador de tecnologia validado em ambiente relevante: funções críticas do objeto, incluídos parâmetros de desempenho, dimensões e peso, implementadas em um demonstrador de tecnologia, são testadas em ambiente relevante, estabelecido de acordo com os Requisitos Operacionais e Técnicos.
7		Demonstração	Demonstrador de tecnologia integrado ao produto alvo validado em ambiente operacional: demonstrador de tecnologia do objeto é integrado ao produto alvo e suas funções críticas são testadas em uma primeira versão do protótipo, em ambiente operacional.
8	Protótipos e Introdução ao Mercado	Fase Pré-comercial	Protótipo validado em ambiente operacional: o produto alvo é testado considerando quase todos os Requisitos Operacionais e Técnicos. Esse nível representa o final do desenvolvimento do produto.
9		Aplicação da tecnologia	Protótipo avaliado por órgão competente (avaliação de protótipo): o produto alvo é avaliado e homologado pelos órgãos competentes do DCT, de acordo com todos os seus Requisitos Operacionais e Técnicos.
10		Lote Piloto	Repetibilidade da produção avaliada (avaliação de lote piloto): lote piloto avaliado e homologado pelos órgãos de C&T e adotado pelo ODG.
11		Produto em Operação	Produto em operação / Feedback de usuário processado: produto melhorado com falhas e <i>bugs corrigidos</i> com base no <i>feedback</i> do usuário.

Fonte: (SILVA, 2024).

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo geral apresentar as possibilidades de utilização de drones em atividades de reconhecimento de agentes NBQR no contexto tático-operacional do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN). Para alcançar tal propósito, foram explorados aspectos doutrinários, operacionais e tecnológicos, com base em estudos comparados, análises documentais e proposições orientadas por modelos reconhecidos de desenvolvimento e prontidão tecnológica.

A análise realizada ao longo dos capítulos demonstrou que o emprego de SARP no contexto da defesa NBQR é não apenas viável, mas também necessário frente às demandas contemporâneas de segurança, especialmente diante da intensificação das ameaças híbridas. O CFN, enquanto força de pronta-resposta da Marinha do Brasil, apresenta uma estrutura que pode ser ampliada e modernizada com a integração de drones equipados com sensores especializados, desde que respaldada por diretrizes sólidas de pesquisa, doutrina e logística.

Dessa forma, o presente estudo não apenas confirmou a viabilidade técnica e operacional da adoção de drones no reconhecimento NBQR pelo CFN, como também forneceu uma base estruturada de diretrizes e parâmetros adaptáveis à realidade nacional. Com a consolidação doutrinária e investimentos em capacitação, essa tecnologia poderá representar um salto qualitativo na prontidão da força.

Como desdobramento das análises realizadas, recomenda-se que futuros estudos explorem a realização de um exercício-piloto e ensaios em ambiente controlado envolvendo SARP de reconhecimento NBQR, de modo a evoluir da análise conceitual com vistas a validar os conceitos operacionais propostos neste estudo. Essas ações podem constituir os primeiros passos para a consolidação doutrinária da capacidade de reconhecimento NBQR com drones no âmbito do CFN.

A proposta de formulação de diretrizes, elaborada no Capítulo 8, fundamenta-se em uma abordagem sistemática e incremental, contribuiu para apresentar uma forma de introdução gradual e segura da tecnologia no seio doutrinário do CFN. O uso do modelo DOTMLPF apresentou uma perspectiva estruturada sobre o faseamento de implantação tecnológica, enquanto a adoção da Escala TRL – adaptada de Girardi et al. (2022) – contribuiu para o dimensionamento dos níveis de maturidade das soluções propostas.

Diante do exposto, observa-se que os objetivos específicos do trabalho foram igualmente atingidos:

- Foi possível identificar os requisitos operacionais do reconhecimento NBQR no CFN, sobretudo a partir da análise do PelRecNBQR e suas tarefas críticas em ambientes contaminados, conforme descrito no POP nº 2/BtlProtDefNBQR e no Manual CGCFN 10-3-1;
- Foram examinadas as principais capacidades técnicas de drones e sensores aplicáveis a ambientes NBQR, com destaque para sensores químicos, biológicos e radiológicos embarcados e sua miniaturização;
- Foi realizado um estudo aprofundado das doutrinas internacionais, com ênfase nas experiências da OTAN, Estados Unidos, União Europeia e Ucrânia, o que permitiu extrair lições aprendidas e boas práticas operacionais; e
- E por fim, foi feita uma avaliação abrangente dos desafios e limitações que ainda precisam ser superados, com ênfase nos aspectos técnicos (miniaturização, certificação INMETRO, interferência das hélices, comunicação), doutrinários (integração com o PelRecNBQR, criação da célula SARP), logísticos (infraestrutura, manutenção e orçamento), e oportunidades de integração com o setor comercial.

Conclui-se, portanto, que a adoção de drones para atividades de reconhecimento NBQR no CFN é tecnicamente viável, operacionalmente vantajosa e estrategicamente recomendável, desde que acompanhada por investimentos contínuos em capacitação, pesquisa, normatização e estrutura logística. O emprego dessas tecnologias oferece vantagens reais em termos de redução de riscos à tropa, maior eficiência na coleta de dados e expansão da capacidade de resposta frente a cenários de crise NBQR, seja no contexto de guerra híbrida ou de acidentes tecnológicos.

Todavia, tal implementação requer compromisso institucional de médio a longo prazo, com atenção especial à padronização doutrinária, à segurança da informação e à interoperabilidade com os sistemas existentes da Marinha do Brasil. A consolidação dessas capacidades poderá posicionar o CFN como referência em operações de Defesa NBQR, contribuindo decisivamente para o fortalecimento da Defesa Nacional.

REFERÊNCIAS

FERNANDES, Hugo Miguel Moutinho. As novas guerras: o desafio da guerra híbrida. *Revista de Ciências Militares*, v. IV, n. 2, 2016.

MARINHA DO BRASIL. Diretrizes para o Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil – SisDefNBQR-MB. Portaria EMA nº 200/2023.

SOLMAZ, Tarik. Hybrid Warfare: A dramatic example of conceptual stretching. *National Security and the Future*, 2022.

SZKLARSKI, Łukasz. The Threat of CBRN Terrorism: An overview and improvised use of chemical, biological, radiological and nuclear materials. *Zeszyty Naukowe SGSP*, n. 91(2), 2024.

BENOLLI, Federico et al. The CBRN Threat Perspective of an Interagency Response. In: JACOBS, G. et al. (Ed.). *International Security Management*. Springer, 2021.

SZKLARSKI, Łukasz. CBRN Threats to Ukraine During the Russian Aggression. *Zeszyty Naukowe SGSP*, n. 87, 2023.

MARINHA DO BRASIL. Portaria EMA nº 200/2023. Diretrizes para o SisDefNBQR-MB.

BRASIL. Marinha do Brasil. Comando de Operações Navais. **COMOPNAVINST nº 30-01: Ameaças Híbridas**. Brasília: COMOPNAV, 2020

BRASIL. Marinha do Brasil. Batalhão de Defesa NBQR. **POP nº 2/BtlDefNBQR – Procedimentos do Pelotão de Reconhecimento NBQR**. São Gonçalo: BtlDefNBQR, 2022.

MARINHA DO BRASIL. COMANDO-GERAL DO CFN. Manual de Defesa NBQR – CGCFN-10.3. 1ª ed. 2020.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria-Geral do Material da Marinha. Portaria nº 213/DGMM, de 12 de dezembro de 2022.

MATTOS, Anderson R. Desafios da prontidão operativa em um mundo em transformação: defesa NBQR. IV Simpósio do Corpo de Fuzileiros Navais, 2022.

SZKLARSKI, Łukasz. The Threat of CBRN Terrorism: An overview, op. cit.

LEMOS, Roberto. O papel do Estado no gerenciamento de crise NBQR no âmbito da segurança e defesa nacionais. ESG, 2018.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais. **Manual CGCFN-10.3-1: Manual de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (NBQR)**. 2. ed. Rio de Janeiro: CGCFN, 2021.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Manual de Campanha EB70-MC-10.233 – Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear**. 1. ed. Brasília: COTER, 2016.

CDC – CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. *Module 2 – What is a safety culture?* 2024. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/learning/safetyculturehc/module-2/2.html>.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Chemical Warfare Agents*. 2024. Disponível em: <https://www.epa.gov/emergency-response/chemical-warfare-agents>.

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Safety Standards*. 2024. Disponível em: <https://www.iaea.org/resources/safety-standards>.

OPCW – ORGANISATION FOR THE PROHIBITION OF CHEMICAL WEAPONS. *Chemical Weapons Convention – Article II: Definitions and Criteria*. 2024. Disponível em: <https://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/articles/article-ii-definitions-and-criteria>.

Decreto nº 5.376 de 17 de fevereiro de 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC e o Conselho Nacional de Defesa Civil, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5376.htm

FM 3-11. **Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Operations**. Washington: Headquarters, Department of the Army, 2019.

THE CBRN THREAT PERSPECTIVE OF AN INTERAGENCY RESPONSE. In: JACOBS, G. et al. (org.). *International Security Management: New Solutions to Complexity*. Springer, 2022.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 11 abr. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm

BOURSCHEIDT, V. Uso de VANTs para Estudos Ambientais em áreas urbanas. In: PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. (Org.). *Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas*. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2019. Cap. 7, p. 111-120.

BRUM, C. B. et al. Uso dos drones nos procedimentos civis e criminais no Brasil. In: PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. (Org.). *Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas*. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2019. Cap. 2, p. 28-45.

CORREIA, H. R. *Solução colaborativa suportada por uma aplicação e pelo uso de drones para auxiliar a tomada de decisão em cenários de emergência*. UFRJ, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ufrj.br/docs/HRCorreia.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2025.

FAGUNDES, M. A. R.; IESCHECK, A. L. Uso de VANT na Cartografia. In: PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. (Org.). *Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas*. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2019. Cap. 4, p. 59-67.

NETO, R. P. M.; BREUNIG, F. M. Drones nas Ciências Florestais. In: PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. (Org.). *Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas*. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2019. Cap. 5, p. 68-90.

SILVA, João Pedro. Aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial para identificação e resposta a ameaças químicas, biológicas, radiológicas e nucleares no Exército Brasileiro. 2024

TAVARES, T. S.; SILVA, T. C. da. *Emprego de drones como meio de obtenção de dados de inteligência nas operações de apoio à órgãos governamentais*. Rio de Janeiro: EsAO, 2017.

EPRS. *Warfare Evolution in Ukraine: Drones and Digitalisation*. European Parliamentary Research Service, 2025. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/772885/EPRS_BRI\(2025\)772885_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/772885/EPRS_BRI(2025)772885_EN.pdf).

LIBRO XXIII CDCDIA. *Cibersegurança, Inteligência Artificial e Novas Tecnologias na Área de Defesa*. Rio de Janeiro: Escola Superior de Guerra, 2022.

MAASSARANI, B. et al. *Heterogeneous Drone Fleet for Radiologic Source Search*. Springer, [s.d.]. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9783030248873>. Acesso em: 19 jul. 2025.

PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. (Org.). *Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas*. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2019.

U.S. ARMY TRAINING AND DOCTRINE COMMAND (TRADOC). *Ukraine Conflict UAV Evolution*. Fort Eustis, Virginia: TRADOC G-2, 2024. Disponível em: <https://odin.tradoc.army.mil/>. Acesso em: 19 jul. 2025.

FREQUENTIS. *Drone-based CBRN detection system advances European defence*. Vienna: Frequentis, 2024. Disponível em: <https://www.frequentis.com>.

GOUVEIA-CARVALHO, J. et al. Unmanned aerial vehicles in chemical, biological, radiological and nuclear environment: Sensors review and concepts of operations. In: MINE ACTION 2015, 12., 2015, Biograd. Anais [...]. Biograd: HCR-CTRO, 2015.

MARTELLUCCI, L. et al. Drones and sensors ecosystem to maximise the “storm effects” in case of CBRNe dispersion in large geographic areas. *International Journal of Safety and Security Engineering*, v. 11, n. 4, p. 377-386, 2021. <https://doi.org/10.18280/ijssse.110411>.

MARTURANO, F. et al. Enhancing radiation detection by drones through numerical fluid dynamics simulations. *Sensors*, v. 20, n. 6, p. 1770, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20061770>.

RÖHLING, T. et al. CBRNE hazard detection with an unmanned vehicle. Wachtberg: FGAN – Research Establishment for Applied Sciences, 2015.

U.S. ARMY. *Army Chemical Review – 2022 Annual Issue*. Fort Leonard Wood: U.S. Army Chemical, Biological, Radiological and Nuclear School, 2022. Disponível em: https://home.army.mil/wood/index.php/contact/publications/CR_mag. Acesso em: 19 jul. 2025.

ATLANTIC COUNCIL. Continued US and allied integration is essential to deter Russian CBRN use. Washington: Atlantic Council, 2023.

EPRS. Military drones in the EU and global context: types, capabilities and regulatory frameworks. Brussels: European Parliamentary Research Service, 2025.

JCBRN Defence COE. NATO CBRN Policy. Rieti: Joint Chemical Biological Radiological and Nuclear Defence Centre of Excellence, 2023.

MARTELLUCCI, Luca et al. Drones and Sensors Ecosystem to Maximise the “Storm Effects” in Case of CBRNe Dispersion in Large Geographic Areas. *International Journal of Safety and Security Engineering*, v. 11, n. 4, p. 377–386, 2021. DOI: 10.18280/ijss.110411.

UNITED STATES. Department of Defense. Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005–2030. Washington: Office of the Secretary of Defense, 2005.

UNITED STATES. Defense Intelligence Agency. Ukraine UAV Evolution – May 2024. Washington: DIA, 2024.

DEFENSE THREAT REDUCTION AGENCY. Annual Report to Congress. Fort Belvoir, VA: DTRA, 2022.

Military Drones: Use Cases and Its Types. Disponível em: <https://bonvaero.com/military-drones-use-cases-and-its-types/>. Acesso em: 20 jul. 2025.;
AEROVIRONMENT. Switchblade® 300 Loitering Munition Systems. Disponível em: <https://www.avinc.com/lms/switchblade>.

FREQUENTIS. Drone-based CBRN detection system advances European defence. Vienna: Frequentis Group, 2024. Disponível em: <https://www.frequentis.com/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

MARTURANO, F. et al. Enhancing radiation detection by drones through numerical fluid dynamics simulations. *Sensors*, Basel, v. 20, n. 6, p. 1770, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20061770>.

VALE, A. et al. Heterogeneous drone fleet for radiological inspection. In: ABDELKADER, M.; KOUBAA, A. (ed.). *Unmanned aerial vehicles: applications, challenges and trends*. Cham: Springer, 2023. p. 127–168.

SCHWAIGER, Simon; MUSTER, Lucas; UGV-CBRN: An Unmanned Ground Vehicle for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Disaster Response. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2406.14385>.

JOHNSON, R. Fires Readiness: The State of US Army Fires in Support of Combined Arms Maneuver at the Division Level. Master’s Thesis (Degree of Master of Military Art and Science General Studies) - U.S. Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, Kansas, 2016.

UNITED STATES. **Department of Defense.** *Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS) Manual*. Washington, D.C.: Department of Defense, 2018.

Disponível

em: https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Library/Manuals/CJCSI_5123_01H.pdf