Cadernos de

Prospectiva Industrial de Defesa

Segmento
PLATAFORMAS VEICULARES MLITARES TERRESTRES

FIA BUSINESS SCHOOL

CNI Confederação Nacional da Indústria

ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS

Ficha Técnica

Presidência da Republica
LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA - ***Presidente da República Federativa do Brasil***

Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC)
MÁRCIO FERNANDO ELIAS ROSA - ***Ministro do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços***

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI):
OLAVO NOLETO ALVES - ***Presidente***
RANDAL FARAH DE OLIVEIRA LEÃO - ***Diretor***
NEIDE APARECIDA DE SOUSA FREITAS - ***Diretora***
KAREN LEAL - ***Líder do Projeto Complexo Industrial da Defesa e Segurança Pública***

Confederação Nacional da Indústria (CNI):
ANTONIO RICARDO ALVAREZ ALBAN - ***Presidente***
MÁRIO SÉRGIO CARRARO TELLES – ***Diretor de Desenvolvimento Industrial***
MÁRCIO GUERRA AMORIM – ***Superintendente de Inteligência Econômica***
RAFAEL SILVA E SOUSA – ***Gerente do Observatório Nacional***
MARCELLO JOSÉ PIO – ***Especialista em Políticas e Indústria***
JULIANO ANTÔNIO SEBBEN – ***Especialista em Políticas e Indústria***

Fundação Instituto Administração da Universidade de São Paulo (FIA/USP):
Prof. Dr. NELSON BARRIZZELLI - ***Coordenador Geral***
Prof. Dr. LINO RODRIGUES - ***Coordenador***
General Div. R1 IVAN FERREIRA NEIVA FILHO - ***Coordenador***
Profa. Dra. SHEILA SERAFIM DA SILVA - ***Consultora***
Coronel R1 ALEXANDRE MAGNO FERNANDES RIBEIRO - ***Consultor***

Especialistas colaboradores:
Conteúdo desenvolvido com a colaboração de representantes da indústria, do governo e da academia.

Revisão e editoração:
Equipe da Unidade de Comunicação e Marketing (UCM) da ABDI

PREFÁCIO

O Projeto de Avaliação e Monitoramento da Base Industrial de Defesa (BID), conduzido pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), constitui um esforço estruturado de produção de conhecimento estratégico sobre a capacidade produtiva, tecnológica e organizacional da indústria de defesa brasileira. Seu objetivo é ampliar a compreensão sobre os segmentos que compõem a BID, suas interdependências, desafios e potencialidades, contribuindo para a formulação de políticas públicas e estratégias de fortalecimento da soberania nacional.

A Base Industrial de Defesa brasileira caracteriza-se por sua diversidade e complexidade produtiva, reunindo desde segmentos tradicionais, como têxteis técnicos, até setores de alta intensidade tecnológica, como sistemas aeroespaciais, cibernéticos, mísseis, plataformas terrestres, navais e aéreas, sensores, comunicações e sistemas autônomos. Essa heterogeneidade exige análises segmentadas, capazes de preservar as especificidades de cada área sem perder de vista sua integração sistêmica.

É nesse contexto que se insere esta coleção de cadernos de prospectiva industrial, resultado de uma iniciativa da ABDI em parceria com o Observatório Nacional da Indústria da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e a Fundação Instituto de Administração (FIA/USP), com base em metodologia estruturada de análise prospectiva desenvolvida pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Aplicado a oito segmentos estratégicos da BID, o trabalho identifica tecnologias emergentes, eventos futuros de impacto e transformações nos perfis ocupacionais e competências requeridas, permitindo antecipar tendências e apoiar decisões estratégicas de longo prazo.

Mais do que uma análise setorial, esta iniciativa busca fortalecer capacidades nacionais em setores críticos, reduzir vulnerabilidades externas e ampliar a competitividade da indústria nacional. Em um cenário internacional marcado por aceleração tecnológica, reconfiguração das cadeias globais de suprimento e tensões geopolíticas crescentes, a capacidade de antecipação torna-se elemento central para a resiliência industrial e a autonomia estratégica do país.

Os cadernos destinam-se a formuladores de políticas públicas, gestores industriais, instituições de ensino e pesquisa e demais atores comprometidos com o fortalecimento da Base Industrial de Defesa, servindo como instrumento de apoio à tomada de decisão e à construção de estratégias de desenvolvimento produtivo, inovação e soberania tecnológica.

1. INTRODUÇÃO

O segmento de plataformas veiculares militares terrestres[1] encontra-se no centro de um processo de transformação estrutural impulsionado pela convergência entre tecnologias digitais, avanços em engenharia de sistemas e mudanças no ambiente geopolítico internacional. A incorporação crescente de inteligência artificial, sistemas autônomos, conectividade avançada, novos materiais e soluções energéticas redefine não apenas as capacidades operacionais das plataformas, mas também a natureza do trabalho necessário para concebê-las, produzi-las, integrá-las e mantê-las. Nesse contexto, a evolução tecnológica ocorre em ritmo acelerado e, muitas vezes, de forma não linear, exigindo respostas igualmente dinâmicas das instituições responsáveis pela formação e qualificação da mão de obra.

Paralelamente, o ambiente geopolítico e econômico internacional impõe novas pressões e incertezas ao setor. A intensificação da competição tecnológica entre países, as restrições ao comércio de componentes críticos, a reorganização das cadeias globais de suprimento e a crescente adoção de requisitos regulatórios e de sustentabilidade afetam diretamente a Base Industrial de Defesa (BID). No plano interno, fatores como limitações orçamentárias, dependência de contratos governamentais e desafios institucionais na coordenação entre atores públicos e privados ampliam a complexidade do cenário, tornando ainda mais relevante a antecipação de tendências e a preparação estratégica do capital humano.

Diante desse contexto, os estudos prospectivos sobre o futuro da mão de obra assumem papel central como instrumentos de apoio à tomada de decisão. Ao identificar tecnologias emergentes, tendências organizacionais, novos perfis profissionais e lacunas de competências, esses estudos permitem não apenas compreender as transformações em curso, mas também orientar a construção de respostas estruturadas e coordenadas entre os diferentes atores do ecossistema. Mais do que prever o futuro, trata-se de preparar o presente para lidar com cenários de elevada incerteza, garantindo a disponibilidade de competências críticas para a soberania tecnológica e a capacidade operacional do país.

[1] De acordo com os especialistas consultados, considerou-se, conceitualmente, que plataforma veicular terrestre refere-se à base estrutural, tecnológica e operacional sobre a qual diferentes sistemas militares podem ser integrados e configurados para múltiplas missões. Uma plataforma é concebida como uma arquitetura modular que inclui chassi, motorização, sistemas de mobilidade, energia, proteção, comunicações e integração eletrônica, permitindo que diferentes armamentos, sensores, sistemas de comando e módulos de missão sejam incorporados conforme a necessidade operacional. Assim, uma mesma plataforma pode originar diversas variantes — como transporte de tropas, reconhecimento, guerra eletrônica, ambulância blindada ou apoio de fogo — otimizando logística, manutenção, treinamento e interoperabilidade das forças armadas. Já o conceito de veículos terrestres se refere aos meios físicos efetivamente utilizados em operações terrestres, independentemente de compartilharem ou não uma arquitetura comum. Incluem carros de combate, blindados, caminhões militares, veículos utilitários, sistemas autônomos, veículos de engenharia e transporte logístico, entre outros. O foco do termo está no equipamento final empregado em campo e em sua função operacional específica. Enquanto a plataforma representa a "base tecnológica" que pode dar origem a diferentes soluções militares, o veículo terrestre corresponde ao produto operacional em si, projetado para executar uma missão determinada dentro do ambiente de combate ou apoio militar.

Nesse sentido, a efetividade das análises realizadas depende diretamente de sua articulação com as políticas de formação profissional da Base Industrial de Defesa. A tradução dos resultados prospectivos em diretrizes curriculares, programas de capacitação, investimentos em infraestrutura formativa e mecanismos de governança integrada entre empresas, governo, instituições de formação profissional e ICTs é condição essencial para que o conhecimento gerado se converta em capacidade concreta. Assim, este estudo se posiciona não apenas como um diagnóstico, mas como um instrumento orientador para o alinhamento estratégico entre evolução tecnológica, desenvolvimento industrial e formação de recursos humanos no segmento de plataformas veiculares militares terrestres.

Este estudo é fruto da aplicação do Modelo de Prospectiva Industrial, desenvolvido e aplicado pelo Observatório Nacional da Indústria da CNI e está baseado em pesquisas teóricas em fontes secundárias e consulta a especialistas. O estudo objetiva discutir, sugerir e priorizar ações estratégicas, cursos e oferta de novos profissionais, visando contribuir para o aumento da competitividade dos segmentos por meio da melhoria da oferta de mão de obra especializada. Para tal, foram consideradas as dimensões: *tecnológica, eventos futuros de impacto, evolução dos perfis profissionais, incertezas críticas (que afetam diretamente a formação de mão de obra) e desafios e incertezas*. De forma esquemática (figura 1), a aplicação do Modelo de Prospectiva seguiu o seguinte raciocínio de análise.

FIGURA 1: Esquema Geral do Modelo de Prospectiva Industrial utilizado para este estudo



Fonte: Observatório Nacional da Indústria (2025)

2. Contextos Futuros

2.1 Possível impacto das tecnologias emergentes no mercado de trabalho

Para fins deste estudo, considera-se como tecnologias emergentes aquelas que estão em constante evolução e que ainda não estão totalmente disseminadas (aquisição e uso) na sociedade, mas possuem o potencial de transformar profundamente diversos setores ou segmentos econômicos, incluindo o impacto na mão de obra do setor/segmento e criação de demanda por novos profissionais. A seguir são apresentadas as tecnologias emergentes para o segmento, juntamente com o possível impacto[2], geral, no mercado de trabalho, utilizando a seguinte escala de impacto.

Escala

- **Impacto Alto** - Quando a tecnologia reestrutura de forma sistêmica o segmento, redefine perfis profissionais, cria ocupações e exige novas capacidades tecnológicas, organizacionais e formativas.
- **Impacto Médio-Alto** – Quando a tecnologia altera múltiplos processos, intensifica a complexidade do trabalho e promove hibridização de funções técnicas e analíticas.
- **Impacto Médio** - Quando a tecnologia provoca reconfiguração parcial de processos e demanda atualização significativa de competências existentes.
- **Impacto Baixo** - Quando a tecnologia gera apenas ajustes marginais nas tarefas e exige requalificação limitada.

[2] Para a classificação dos impactos das tecnologias emergentes no segmento, adotou-se um método estruturado que avalia a capacidade de cada tecnologia de reconfigurar o sistema produtivo em múltiplas camadas — desde processos técnicos até a organização do trabalho e as competências requeridas, e não apenas sua difusão ou eficiência isolada. A intensidade do impacto foi determinada com base em critérios combinados, incluindo: (i) centralidade da tecnologia no sistema, (ii) número de processos afetados ao longo do ciclo de vida, (iii) grau de reconfiguração das atividades e ocupações, (iv) dependência institucional e regulatória e (v) potencial de encadeamento produtivo.

1 Materiais Avançados para Blindagem e Proteção Passiva (ex. Metamateriais, Fluidos Espessantes de Cisalhamento)

Novos materiais para blindagem que oferecem relações proteção-peso significativamente melhores em comparação com blindagens tradicionais de aço ou compósitos. Metamateriais podem ser projetados para absorver frequências específicas de radiação eletromagnética ou ondas sonoras, oferecendo capacidades de furtividade ou proteção aprimorada contra certos tipos de projéteis. Fluidos Espessantes de Cisalhamento (STFs) podem ser integrados a tecidos ou estruturas compósitas para fornecer maior resistência ao impacto.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de Materiais; Engenheiros Químicos; Engenheiros Mecânicos; Especialistas em Balística; Técnicos de Fabricação; Especialistas em Testes e Validação; Engenheiro Físico; Físico; Especialista em Nanociências.
- **Como o Trabalho Muda** - As funções tradicionais de fabricação de blindagem evoluirão para se concentrar no processamento avançado de materiais, integração de nanotecnologia e fabricação de compósitos complexos. Aumento da demanda por especialistas em caracterização de materiais, simulação e testes de desempenho em condições extremas.

2 Sistemas de Proteção Ativa (APS) com Discriminação Aprimorada

São APS que detectam e neutralizam automaticamente ameaças (ex. RPGs, mísseis antitanque) antes que elas atinjam o veículo. Os sistemas emergentes incorporam radar avançado, sensores eletro-ópticos e algoritmos de IA para melhorar a identificação de ameaças (distinguindo entre ameaças genuínas e objetos inofensivos) e reduzir danos colaterais.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros Eletricistas; Engenheiros de Radar; Engenheiros de Software (IA/ML); Integradores de Sistemas; Engenheiros de Teste; Especialistas em Táticas Militares; Engenheiro de Materiais; Engenheiros Físicos; Engenheiros Químicos.
- **Como o Trabalho Muda** - Mudanças de soluções de blindagem reativa para sistemas de defesa proativos, além do aumento da necessidade de expertise em processamento de sinais em tempo real, algoritmos de avaliação de ameaças e integração com sistemas de comando e controle de veículos.

3 **Sistemas de Propulsão Elétricos e Híbridos-Elétricos**[3]

UGVs movidos por motores elétricos, totalmente elétricos ou híbridos-elétricos (combinando um motor elétrico com um motor de combustão ou célula de combustível). Oferecem vantagens em termos de redução da assinatura sonora, maior eficiência de combustível, menores emissões e torque potencialmente maior para melhor mobilidade.

- **Nível de Impacto** - Médio a alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros Eletricistas; Engenheiros Mecânicos; Engenheiros Automotivos; Especialistas em Tecnologia de Baterias; Engenheiros em Eletrônica de Potência; Técnicos de Manutenção; Engenharia de Software.
- **Como o Trabalho Muda** - Mecânicos tradicionais de sistemas de transmissão precisarão ser retreinados em manutenção de motores elétricos, sistemas de gerenciamento de baterias e procedimentos de segurança de alta tensão. Estima-se um aumento da demanda por engenheiros especializados em projeto de veículos elétricos, eletrônica de potência e soluções de armazenamento de energia.

4 **Veículos com motores multicombustíveis**

Os veículos terrestres militares com motores multicombustíveis correspondem a sistemas capazes de operar com diferentes tipos de combustíveis, como diesel, querosene de aviação, biodiesel e misturas combustíveis adaptadas às necessidades logísticas e operacionais das forças armadas.

- **Nível de Impacto** - Médio.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros Mecânicos; Engenheiros Automotivos; Engenheiros Químicos; Engenheiros de Energia; Especialistas em Combustíveis e Lubrificantes; Técnicos de Manutenção Automotiva; Engenheiros Eletricistas; Especialistas em Sistemas Auxiliares de Energia (APUs).
- **Como o Trabalho Muda** - Profissionais ligados à motorização veicular precisarão ampliar competências relacionadas à integração de diferentes combustíveis, eficiência energética, gerenciamento térmico e sistemas auxiliares de geração elétrica embarcada.

[3] De acordo com os especialistas consultados, os veículos terrestres não são plataformas terrestres. A plataforma carbono zero não vai existir em 10 a 15 anos no Brasil. Em relação aos veículos consideram que até 2040 não será renovada a frota para introdução dos veículos elétricos. O que é possível, em termos de modernização, é introduzir pequenos implementos de pacotes de energia para gerar energia elétrica, isto é, não é motorização de veículos, são APUs. O veículo militar elétrico é uma tecnologia que parece ainda estar muito mais distante em razão de uma série de fatores restritivos, como por exemplo a distribuição de energia em lugares mais isolados e ao aumento considerável do veículo em função das baterias.

5 Sistema de Geoposicionamento Autônomo

Os sistemas de geoposicionamento autônomo correspondem a tecnologias de navegação e localização capazes de determinar a posição, orientação e deslocamento de plataformas veiculares terrestres sem dependência exclusiva de sinais externos de GPS ou GNSS.

Esses sistemas utilizam a integração de sensores embarcados, como acelerômetros, giroscópios, magnetômetros, gravitômetros e unidades de medição inercial (IMUs) de alta precisão, combinados com algoritmos de fusão de sensores, inteligência artificial e mapeamento do terreno para fornecer navegação resiliente mesmo em ambientes com bloqueio, degradação ou interferência deliberada de sinais de satélite. O futuro deverá contar com sistemas de geoposicionamento autônomo utilizando tecnologias quânticas que hoje estão em TRLs iniciais.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de Robótica; Engenheiros de Software (IA/ML, Planejamento de Trajetórias); Engenheiros de Fusão de Sensores; Especialistas em Mapeamento; Operadores de Veículos; Engenheiro de Produção.
- **Como o Trabalho Muda** - Acaba com a dependência de GPS. Ele retira o erro que é colocado propositalmente.

6 Sistemas de Navegação Autônoma

Sistemas que permitem que veículos terrestres naveguem de forma autônoma em terrenos complexos, utilizando uma combinação de LiDAR, câmeras, GPS, unidades de medição inercial (IMUs) e algoritmos de planejamento de trajetórias com tecnologia de IA. Esses sistemas podem reduzir a carga de trabalho do motorista, melhorar a consciência situacional e permitir operações de veículos terrestres não tripulados (UGVs).

- **Nível de Impacto** - Baixo.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de Robótica; Engenheiros de Software (IA/ML, Planejamento de Trajetórias); Engenheiros de Fusão de Sensores; Especialistas em Mapeamento; Operadores de Veículos (com reciclagem); Engenheiro de Produção.
- **Como o Trabalho Muda** - As funções do motorista podem evoluir para supervisores de missão ou operadores remotos. Estima-se que poderá haver um aumento da demanda por especialistas em desenvolvimento de software para veículos autônomos, de integração de sensores e de tecnologias de mapeamento/localização. Porém, ainda pode ter muitas desvantagens como a falta de segurança e os desafios relacionados às questões éticas. O ambiente operacional é muito volátil e imprevisível no ambiente militar, além disso, a condução do veículo é muito ditada pela tática, o que o algoritmo pode não ser capaz de realizar.

7 Sistemas de Planejamento de Rotas

Os sistemas de planejamento de rotas correspondem às tecnologias responsáveis por definir trajetórias otimizadas para plataformas veiculares terrestres militares, considerando fatores como relevo, obstáculos, ameaças, consumo de combustível, mobilidade do terreno, riscos operacionais e objetivos da missão. Esses sistemas utilizam algoritmos de inteligência artificial, georreferenciamento, mapeamento digital e análise de dados em tempo real para sugerir rotas mais seguras e eficientes para veículos tripulados ou não tripulados.

- **Nível de Impacto** - Médio-baixo.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de Software (IA/ML); Especialistas em Geoprocessamento; Engenheiros Cartográficos; Especialistas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG); Analistas de Dados; Engenheiros de Produção; Operadores de Missão.
- **Como o Trabalho Muda** - Operadores e planejadores militares passarão a utilizar sistemas digitais avançados de apoio à decisão para análise de mobilidade e planejamento operacional. Ainda assim, a decisão final sobre deslocamentos continuará fortemente dependente da experiência humana e da interpretação tática do ambiente operacional, limitando a substituição completa da tomada de decisão humana por algoritmos.

8 Comunicação e Redes Avançadas (Computação Tática de Borda)

Sistemas de comunicação seguros e de alta largura de banda que permitem o compartilhamento contínuo de dados entre veículos terrestres, centros de comando e outros ativos no campo de batalha.

A computação tática de borda envolve o processamento de dados no veículo para reduzir a latência e melhorar a capacidade de resposta em ambientes competitivos. Deve-se considerar as perspectivas **estratégica** e a **tática**, as quais têm demandas diferentes.

- **Nível de Impacto** - Médio.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de Comunicação; Engenheiros de Rede; Especialistas em Segurança Cibernética; Engenheiros de Software; Cientistas de Dados; Especialista em Machine Learning e IA.
- **Como o Trabalho Muda** - Espera-se uma ênfase em protocolos seguros de comunicação, criptografia de dados e gerenciamento de rede em ambientes desafiadores. Haverá uma crescente necessidade de especialistas em segurança cibernética para proteção contra ataques cibernéticos em redes de veículos.

9 Manufatura Aditiva (Impressão 3D) para Produção de Peças Sob Demanda

Utilização de tecnologias de impressão 3D para produzir peças de reposição, componentes personalizados e até mesmo estruturas completas de veículos sob demanda, seja em depósito ou em campo. Reduz a dependência de cadeias de suprimentos tradicionais, permitindo a prototipagem rápida e a configurações personalizadas de veículos. Especialmente a impressão de peças poliméricas. Ainda há barreiras e desafios a serem contornados, como escala e impressão de metálicos. Atualmente, os métodos tradicionais de manufatura ainda são muito mais baratos.

- **Nível de Impacto** - Médio (a longo prazo).
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de Manufatura; Cientistas de Materiais; Técnicos de Impressão 3D; Engenheiros de Projeto.
- **Como o Trabalho Muda** - As funções tradicionais de usinagem e fabricação podem ser parcialmente substituídas por especialistas em impressão 3D. Espera-se o aumento da demanda por engenheiros e técnicos com experiência em processos de manufatura aditiva, materiais e projeto para impressão 3D.

10 Realidade Aumentada (RA) Consciência Situacional Aprimorada

Sistemas de RA que sobrepõem informações digitais à visão do mundo real dos operadores de veículos, proporcionando maior consciência situacional, dicas de navegação e identificação de alvos. Os displays de RA podem ser integrados a capacetes, para-brisas ou dispositivos portáteis.

- **Nível de Impacto** - Médio.
- **Principais Profissionais Afetados** - Especialistas em Interação Humano-Computador (IHC); Engenheiros de Software; Engenheiros de Tecnologia de Display; Designers de Interface de Usuário (IU); Instrutores Militares.
- **Como o Trabalho Muda** - O emprego de operadores de veículos poderá incorporar o uso de sistemas de RA. Ademais, espera-se que a demanda por especialistas em desenvolvimento de *software* de RA, design de IU e engenharia de fatores humanos aumente nos próximos 10 anos. Estes profissionais atuarão na manutenção preditiva e corretiva.

11 Manutenção Preditiva com IA e IoT

Integração de sensores IoT em veículos terrestres para monitorar a saúde e o desempenho de componentes críticos. Os algoritmos de IA analisam dados de sensores para prever possíveis falhas e programam a manutenção proativamente, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a prontidão operacional.

- **Nível de Impacto** - Médio-baixo.
- **Principais Profissionais Afetados** - Cientistas de Dados; Engenheiros Mecânicos; Engenheiros de Confiabilidade; Especialistas em IoT; Técnicos de Manutenção.
- **Como o Trabalho Muda** - Para a transição dos processos de manutenção reativa para estratégias de manutenção proativas e baseadas em dados, os técnicos de manutenção precisarão ser capacitados em análise de dados e diagnóstico de sensores de IoT.

12 Armas de Energia Direcionada (DEW) para Defesa Anti-VANT e Defesa de Curto Alcance

Integração de armas a laser ou de micro-ondas de alta potência (HPM) em veículos terrestres para defesa contra drones, foguetes e outras ameaças de curto alcance. As DEW oferecem vantagens em termos de precisão, escalabilidade e custo potencialmente menor por engajamento em comparação com as armas cinéticas tradicionais.

- **Nível de Impacto** - Baixo a médio (provavelmente em um período muito maior que horizonte de 10 anos, pois o custo é muito elevado).
- **Principais Profissionais Afetados** - Físicos; Engenheiros Eletricistas; Engenheiros de Laser; Engenheiros de Sistemas de Energia; Integradores de Sistemas de Armas; Engenheiros de Segurança.
- **Como o Trabalho Muda** - É possível que novas funções surjam no desenvolvimento, integração e manutenção de sistemas DEW. Os protocolos de segurança e capacitação serão essenciais devido aos perigos potenciais de lasers e micro-ondas de alta energia.

13 **Sistemas de Gerenciamento de Carga Cognitiva**
Sistemas que monitoram o estado cognitivo dos operadores de veículos (por exemplo, usando sensores de rastreamento ocular, EEG e MEG-OPM) e adaptam as informações apresentadas a eles para reduzir a sobrecarga cognitiva e melhorar a tomada de decisões sob estresse.

- **Nível de Impacto** - Baixo a médio.
- **Principais Profissionais Afetados** - Cientistas Cognitivos; Engenheiros de Fatores Humanos; Engenheiros de Software; Especialistas em Tecnologia de Sensores; Psicólogos Militares.
- **Como o Trabalho Muda** - Foco no design de interfaces de usuário e displays de informações que minimizem a carga cognitiva. Com isso, espera-se o aumento da colaboração entre engenheiros e cientistas cognitivos para otimizar a interação homem-máquina.

2.2 Clusterização das Tecnologias Emergentes[4] — Plataformas Veiculares Militares Terrestres

Lógica adotada

As tecnologias foram agrupadas segundo três critérios principais:

1. **Base tecnológica dominante** (IA, materiais, energia etc.)
2. **Capacidades que reconfiguram no sistema** (proteção, mobilidade, decisão, operação)
3. **Padrão esperado de difusão** (programática, sistêmica, específica)

CLUSTER **1**

Proteção Inteligente e Sistemas de Defesa Ativa
(Capacidade central: sobrevivência, proteção e resposta a ameaças)

Tecnologias: Materiais Avançados para Blindagem e Proteção Passiva (metamateriais, STF); Sistemas de Proteção Ativa (APS) com Discriminação Aprimorada; Armas de Energia Direcionada (DEW) para Defesa Anti-VANT e Defesa de Curto Alcance (parcialmente).

Características do cluster:

- Transição da lógica de blindagem exclusivamente passiva para sistemas híbridos de proteção ativa e adaptativa.
- Integração crescente entre sensores, radar, processamento de sinais e IA.
- Elevada criticidade operacional associada à sobrevivência da plataforma.
- Forte dependência de testes balísticos, validação militar e integração sistêmica.
- Incorporação de materiais avançados com maior relação proteção-peso.

Implicação para difusão: Difusão fortemente dependente de validação operacional, certificação militar e programas estratégicos de modernização das plataformas.

[4] A clusterização das tecnologias emergentes constitui uma etapa analítica fundamental para a estimativa de difusão tecnológica, pois permite agrupar tecnologias com lógicas semelhantes de desenvolvimento, incorporação e institucionalização no sistema produtivo. Em setores de defesa, caracterizados por estrutura monopsônica/oligopolizada, a difusão não ocorre por expansão de mercado, mas por incorporação programática e institucionalização em requisitos, normas e programas estratégicos. Nesse contexto, a análise isolada de tecnologias tende a gerar inconsistências e vieses, como superestimação ou subestimação da velocidade de adoção. Ao organizar as tecnologias em clusters baseados em capacidades dominantes e padrões de difusão (programática, sistêmica ou nichada), torna-se possível aplicar parâmetros mais coerentes na modelagem prospectiva, capturar dinâmicas diferenciadas de incorporação tecnológica, melhorar a comparabilidade entre tecnologias e aumentar a robustez metodológica das estimativas, especialmente em sistemas sociotécnicos complexos e altamente regulados, como a Base Industrial de Defesa.

CLUSTER 2

Mobilidade, Energia e Propulsão Militar Avançada

(Capacidade central: mobilidade, eficiência energética e redução de assinatura operacional)

Tecnologias: Sistemas de Propulsão Elétricos e Híbridos-Elétricos; Veículos com Motores Multicombustíveis.

Características do cluster:

- Busca por redução de assinatura térmica e acústica.
- Aumento da eficiência energética e flexibilidade logística.
- Forte relação com eletrônica de potência, armazenamento de energia e gerenciamento térmico.
- Tendência de modernização incremental em vez de substituição completa das plataformas.
- Integração crescente de sistemas auxiliares de geração elétrica embarcada (APUs).

Implicação para difusão: Difusão condicionada por limitações logísticas, custos operacionais, infraestrutura energética e maturidade tecnológica.

CLUSTER 3

Autonomia, Navegação e Decisão Inteligente

(Capacidade central: navegação resiliente, percepção operacional e apoio à decisão tática)

Tecnologias: Sistema de Geoposicionamento Autônomo; Sistemas de Navegação Autônoma; Sistemas de Planejamento de Rotas.

Características do cluster:

- Redução da dependência exclusiva de GPS/GNSS.
- Forte integração entre IA, fusão de sensores, georreferenciamento e planejamento computacional.
- Crescente utilização de algoritmos de apoio à decisão operacional.
- Potencial de transição parcial da condução humana para supervisão operacional.
- Forte influência de fatores doutrinários, éticos e de segurança operacional.

Implicação para difusão: Difusão dependente de validação operacional, segurança funcional e confiabilidade dos algoritmos em ambientes militares complexos e imprevisíveis.

CLUSTER **4**

Conectividade Tática e Arquitetura Digital Embarcada

(Capacidade central: integração sistêmica, conectividade e operação em rede)

Tecnologias: Comunicação e Redes Avançadas (Computação Tática de Borda).
Características do cluster:

- Base para operações network-centric.
- Compartilhamento contínuo de dados entre plataformas e centros de comando.
- Forte dependência de comunicação segura, criptografia e baixa latência.
- Integração crescente entre computação embarcada, IA e redes táticas.
- Impacto transversal sobre comando, controle e coordenação operacional.

Implicação para difusão: A difusão depende da modernização das arquiteturas digitais e da infraestrutura de comunicação militar.

CLUSTER **5**

Manufatura Avançada e Sustentação Logística Inteligente

(Capacidade central: produção flexível, manutenção avançada e autonomia logística)

Tecnologias: Manufatura Aditiva (Impressão 3D) para Produção de Peças Sob Demanda; Manutenção Preditiva com IA e IoT.
Características do cluster:

- Redução da dependência de cadeias logísticas tradicionais.
- Aumento da autonomia operacional e manutenção baseada em dados.
- Integração entre sensores, análise preditiva e processos produtivos digitais.
- Possibilidade de produção descentralizada de componentes.
- Forte impacto sobre manutenção corretiva, preventiva e gestão logística.

Implicação para difusão: Difusão condicionada por certificação técnica, padronização de materiais e maturidade dos processos de manufatura aditiva.

CLUSTER **6**

Interface Homem–Máquina e Operação Assistida

(Capacidade central: consciência situacional, redução da carga cognitiva e interação homem–sistema)

Tecnologias: Realidade Aumentada (RA) para Consciência Situacional Aprimorada; Sistemas de Gerenciamento de Carga Cognitiva.

Características do cluster:

- Ampliação da consciência situacional dos operadores.
- Redução da sobrecarga cognitiva em ambientes operacionais complexos.
- Integração entre fatores humanos, sensores e sistemas digitais de apoio.
- Evolução das interfaces homem–máquina para arquiteturas mais imersivas e adaptativas.
- Forte relação com ergonomia operacional e engenharia cognitiva.

Implicação para difusão: Difusão dependente de validação ergonômica, aceitação operacional e comprovação de ganhos efetivos de desempenho humano em ambientes de combate.

2.3 Estimativa de Difusão [5] [6] das Tecnologias Emergentes[7]

Escala de Difusão Sistêmica e Programática

Nível 1 – Difusão Exploratória: pilotos, P&D, uso pontual.
Nível 2 – Difusão Programática Pontual: aplicada em um programa/classe/ativo específico.
Nível 3 – Difusão Programática Repetida: presente em múltiplos programas/classes, com institucionalização parcial.
Nível 4 – Difusão Sistêmica (Padrão): requisito padrão, institucionalizado e recorrente.

Tecnologia emergente	Difusão (5 anos)	Difusão (10 anos)	Difusão (15 anos)	Justificativa sintética
Materiais avançados para blindagem	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Tecnologia considerada estratégica para aumento da sobrevivência e redução de peso das plataformas, porém fortemente dependente de certificação balística, testes operacionais e maturidade industrial. A tendência é evoluir de aplicações exploratórias para incorporação programática repetida em plataformas específicas de maior criticidade operacional.
Sistemas de Proteção Ativa (APS)	Nível 1	Nível 1	Nível 2	Elevada centralidade operacional associada à proteção da plataforma, mas com difusão limitada por custos, integração sistêmica, validação operacional e necessidade de adaptação doutrinária. A tendência é de incorporação seletiva em programas específicos de modernização.
Propulsão elétrica/híbrida	Nível 1	Nível 1	Nível 1	Apesar da tendência tecnológica global, a aplicação em plataformas militares terrestres permanece limitada por restrições logísticas, infraestrutura energética, peso das baterias, autonomia operacional e condições do ambiente militar brasileiro. A difusão tende a permanecer exploratória no horizonte analisado.
Navegação autônoma	Nível 1	Nível 1	Nível 2	Tecnologia com potencial operacional relevante, mas limitada por desafios de segurança funcional, imprevisibilidade do ambiente de combate e restrições éticas e doutrinárias. A tendência é de evolução gradual para aplicações programáticas específicas em missões selecionadas e UGVs.

[5] Para fins deste estudo o conceito de difusão tecnológica foi definido, como o grau em que uma tecnologia se torna institucionalizada como aptidão recorrente, requisito padrão ou prática dominante em um sistema produtivo, independentemente do número de compradores existentes. A unidade central de análise deixa de ser o mercado (com muitos fornecedores e consumidores) e passa a ser o sistema sociotécnico. Com isso, as estimativas de difusão seguiram um modelo específico para mercados monopsônicos e oligopolizados.

[6] Uma vez que o Projeto das Forças Armadas será até 2040, os especialistas consultados consideraram um horizonte temporal de 5, 10 e 15 anos.

[7] A estimativa dos graus de difusão das tecnologias emergentes no segmento de plataformas veiculares militares terrestres considerou, de forma integrada, cinco dimensões principais: (i) grau de incorporação programática, isto é, o nível em que a tecnologia já está inserida em programas, plataformas ou classes específicas; (ii) nível de institucionalização organizacional, refletido na presença da tecnologia em requisitos técnicos, doutrina, normas e processos internos; (iii) maturidade e disponibilidade tecnológica e industrial, incluindo a existência de fornecedores, infraestrutura produtiva e capacidade de ensaio e certificação; (iv) criticidade funcional para o sistema, associada ao papel da tecnologia no desempenho, segurança e operação das plataformas; e (v) barreiras à difusão, tais como custos, exigências regulatórias, dependência externa e complexidade de integração. A partir da combinação dessas variáveis, as tecnologias foram classificadas segundo a escala de difusão por níveis.

Tecnologia emergente	Difusão (5 anos)	Difusão (10 anos)	Difusão (15 anos)	Justificativa sintética
Geoposicionamento	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Tecnologia considerada estratégica pela redução da dependência de GPS/GNSS em ambientes contestados eletronicamente. A tendência é de expansão gradual de aplicações pontuais para institucionalização parcial em múltiplos programas e plataformas de maior sofisticação operacional.
Planejamento de rotas	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Tecnologia com elevada aplicabilidade prática e menor barreira tecnológica relativa, favorecendo rápida incorporação em sistemas digitais de apoio à decisão operacional. A tendência é evoluir de aplicações programáticas para institucionalização sistêmica como requisito recorrente de mobilidade e planejamento tático.
Comunicações e redes avançadas (edge computing)	Nível 3	Nível 4	Nível 4	Tecnologia transversal e estruturante para operações network-centric, com forte tendência à institucionalização como requisito padrão de interoperabilidade, comando e controle e compartilhamento de dados em tempo real entre plataformas e sistemas militares.
Manufatura aditiva (produção sob demanda)	Nível 1	Nível 1	Nível 2	Forte potencial para manutenção e sustentação logística, porém ainda limitada por certificação técnica, padronização de materiais, confiabilidade estrutural e custos de produção em escala. A tendência é de incorporação programática pontual em manutenção e produção de componentes específicos.
Realidade aumentada (consciência situacional)	Nível 1	Nível 2	Nível 2	Crescente relevância para consciência situacional e interação homem-máquina, mas ainda dependente de validação ergonômica, adaptação operacional e integração com sistemas embarcados. A difusão tende a ocorrer inicialmente em programas específicos de plataformas mais sofisticadas.
Manutenção preditiva (IA + IoT)	Nível 1	Nível 1	Nível 1	Embora possua elevado potencial para melhoria da prontidão operacional e redução de custos do ciclo de vida, sua implementação em plataformas militares terrestres permanece limitada pela baixa digitalização da frota, dificuldades de integração sensorial e restrições de infraestrutura de dados. A tendência é de permanência em aplicações exploratórias no horizonte considerado.
Armas de energia dirigida (DEW)	Não haverá difusão	Não haverá difusão	Nível 1	Tecnologia ainda associada a elevados desafios energéticos, térmicos, operacionais e de miniaturização embarcada, além de custos extremamente elevados. A tendência é de manutenção em estágios exploratórios e demonstrações tecnológicas no horizonte de 15 anos.
Sistemas de gerenciamento de carga cognitiva	Nível 1	Nível 2	Nível 2	Tecnologia ainda em baixa maturidade operacional, dependente de validação ergonômica, fatores humanos e confiabilidade dos sistemas cognitivos embarcados. A tendência é de aplicações programáticas pontuais em plataformas e missões de maior complexidade operacional.

Síntese

- A análise das estimativas revisadas pelos especialistas indica que a difusão das tecnologias emergentes em plataformas militares terrestres tende a ocorrer de forma predominantemente programática e gradual, refletindo as características estruturais da Base Industrial de Defesa, marcada por elevada dependência institucional, ciclos longos de aquisição, validação operacional rigorosa e forte condicionamento doutrinário.

- As tecnologias associadas à conectividade, integração sistêmica e apoio à decisão — especialmente comunicações avançadas, computação tática de borda e sistemas de planejamento de rotas — apresentaram os maiores níveis esperados de difusão ao longo do horizonte analisado, indicando tendência de institucionalização como capacidades estruturantes das futuras plataformas militares terrestres.

- Por outro lado, tecnologias mais disruptivas e dependentes de elevada maturidade tecnológica, como propulsão elétrica plena, armas de energia dirigida e sistemas avançados de autonomia, tendem a permanecer em estágios exploratórios ou programáticos pontuais, principalmente devido a restrições energéticas, logísticas, operacionais, econômicas e doutrinárias.

- Observa-se também forte tendência de crescimento das tecnologias relacionadas à digitalização operacional, integração homem–máquina e navegação resiliente, especialmente em ambientes contestados eletronicamente, reforçando o papel crescente da inteligência artificial, fusão de sensores e processamento embarcado no futuro das plataformas militares terrestres.

2.4 Outras Eventos de Impacto[8]

1 **Aumento da Instabilidade Geopolítica na América do Sul**
O aumento das tensões entre os países da região, disputas de fronteira ou conflitos internos podem gerar um aumento na demanda por veículos terrestres militares.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Trabalhadores da Produção; Engenheiros; Vendas e Marketing; Logística; Gerentes de Programa, SLI, pós-venda.
- **Como o Trabalho Muda** - Aumento do volume de produção, potencial para horas extras, expansão das instalações fabris e maior necessidade de mão de obra qualificada em todas as áreas da empresa.

2 **Mudanças nas Alianças Globais e Parcerias de Defesa**
O estreitamento dos laços de defesa do Brasil com novos parceiros (por exemplo, países do BRICS e outras nações sul-americanas) ou o enfraquecimento das alianças existentes (por exemplo, com os EUA) podem afetar a transferência de tecnologia, as oportunidades de exportação e o acesso a mercados estrangeiros.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Desenvolvimento de Negócios; Relações Governamentais; Jurídico, Vendas Internacionais; Engenheiros (para transferência de tecnologia), operadores/usuário final.

[8] A análise dos impactos dos eventos não tecnológicos no segmento de plataformas veiculares militares terrestres considerou a capacidade desses eventos de reconfigurar estruturalmente o funcionamento do segmento, e não apenas seus efeitos conjunturais. Para tanto, foram avaliadas, de forma integrada, seis dimensões analíticas: (i) centralidade estratégica para o segmento, isto é, o grau em que o evento afeta decisões, investimentos e a lógica de funcionamento do segmento; (ii) abrangência setorial, referente ao número de agentes, atividades e funções impactadas; (iii) grau de reconfiguração do trabalho, incluindo criação de funções, mudança de responsabilidades e aumento da complexidade das atividades; (iv) dependência institucional e regulatória, associada à influência de políticas públicas, regulações e decisões governamentais; (v) persistência temporal dos efeitos, distinguindo impactos conjunturais de transformações estruturais de longo prazo; e (vi) capacidade de gerar efeitos em cascata, ou seja, de induzir mudanças adicionais nas dimensões organizacionais, produtivas e formativas.

3 **Maior Foco em Fatores Ambientais, Sociais e de Governança (ESG) em Compras de Defesa**

Governos e investidores estão, cada vez mais, considerando fatores ESG ao tomar decisões de compras de defesa. Isso pode favorecer empresas que priorizam a sustentabilidade, o fornecimento ético e a responsabilidade social.

- **Nível de Impacto** - Médio.
- **Principais Profissionais Afetados** - Gerentes de Sustentabilidade; Engenheiros Ambientais; Gerentes de Cadeia de Suprimentos; Relações Públicas; Especialistas em Responsabilidade Social Corporativa (RSC), profissionais da área de certificação.
- **Como o Trabalho Muda** - Implementação de práticas de fabricação sustentáveis, foco na redução da pegada de carbono, fornecimento ético de materiais e relatórios transparentes sobre o desempenho ESG.

4 **Ascensão de Veículos Terrestres Autônomos e Não Tripulados (UGVs)**

Aumento da adoção de UGVs para funções de reconhecimento, logística e apoio ao combate. Isso pode criar oportunidades para empresas que desenvolvem e integram tecnologias autônomas em plataformas de veículos terrestres.

- **Nível de Impacto** - Alto (Positivo para empresas que inovam).
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de Robótica; Engenheiros de Software (IA e ML); Engenheiros de Fusão de Sensores; Integradores de Sistemas; Engenheiros de Teste; Operadores de Veículos (com reciclagem), engenheiros eletrônicos.
- **Como o Trabalho Muda** - mudança do design tradicional de veículos para a integração de sistemas autônomos. Aumento da demanda por especialistas em robótica, eletrônica, IA e tecnologias de sensores, com requalificação de operadores de veículos para gerenciar e supervisionar UGVs.

5

Aumento das Ameaças de Guerra Cibernética e Guerra Eletrônica

Sofisticação crescente de ataques cibernéticos e táticas de guerra eletrônica visando veículos terrestres militares. Isso pode impulsionar a demanda por veículos com recursos aprimorados de segurança cibernética e contramedidas eletrônicas.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Especialistas em Segurança Cibernética/ criptografia; Engenheiros de Rede, engenheiro de sistemas; Engenheiros de Software; Engenheiros de Guerra Eletrônica; Integradores de Sistemas; auditor de segurança cibernética.
- **Como o Trabalho Muda** - Foco no desenvolvimento de protocolos seguros de comunicação, sistemas de detecção de intrusão e contramedidas eletrônicas. Aumento da necessidade de especialistas em segurança cibernética para proteção contra ataques cibernéticos em redes de veículos. Necessidade de certificação de segurança cibernética.

6

Flutuações nos Preços de *Commodities* (Aço, Alumínio, Minerais de Terras Raras)

A volatilidade nos preços das matérias-primas utilizadas na fabricação de veículos terrestres pode impactar significativamente os custos de produção e a lucratividade.

- **Nível de Impacto** - Média-alta (alguns consideram alta).
- **Principais Profissionais Afetados** - Gerentes de Compras; Gerentes da Cadeia de Suprimentos; Analistas Financeiros; Especialistas em Gestão de Riscos, engenheiro de materiais.
- **Como o Trabalho Muda** - implementação de estratégias de *hedge*, diversificação de fornecedores e exploração de materiais e metodologias de fabricação alternativos para mitigar a volatilidade dos preços, certificação de novos materiais.

7 Restrições Orçamentárias do Governo e Prioridades de Gastos com Defesa

Mudanças nas alocações orçamentárias do governo e nas prioridades de gastos com defesa podem afetar a demanda por veículos terrestres militares.

- **Nível de Impacto** - Muito Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Vendas e Marketing; Desenvolvimento de Negócios; Relações Governamentais; Gerentes de Programas (setor público e privado); Trabalhadores da Produção.
- **Como o Trabalho Muda** - Aumento da concorrência por contratos governamentais, potencial necessidade de diversificação para novos mercados e adaptação às mudanças nas exigências dos clientes.

8 Maior Foco em Guerra Urbana, Operações Multidomínio Conflitos Assimétricos

A natureza mutável da guerra, com maior ênfase em ambientes urbanos e conflitos assimétricos, pode impulsionar a demanda por veículos terrestres menores, mais ágeis e mais versáteis.

- **Nível de Impacto** - Alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Engenheiros de Projeto; Engenheiros Mecânicos; Integradores de Sistemas; Especialistas em Táticas Militares, engenheiros de materiais, profissionais da área de certificação, gestores públicos (normatização, interlocução com a BID, velocidade de mudanças).
- **Como o Trabalho Muda** - Foco no desenvolvimento de veículos otimizados para ambientes urbanos, com maior manobrabilidade, consciência situacional e proteção contra ameaças assimétricas, celeridade nos processos de avaliação e mudanças normativas.

9 **Complexidade / inadequabilidade dos processos de aquisição**
Baixa efetividade da gestão do ciclo de vida e dos processos licitatórios (definição de requisitos, planejamento da avaliação, planejamento do suporte logístico integrado, execução da licitação, entre outros).

- **Nível de Impacto** - Muito alto.
- **Principais Profissionais Afetados** - Vendas e Marketing; Desenvolvimento de Negócios; Relações Governamentais; Gerentes de Programas (setor público e privado) e gestores públicos.
- **Como o Trabalho Muda** - Necessidade de qualificação de gestores públicos e das equipes de projeto, adequação das propostas comerciais às novas regulações dos processos de aquisição e do ciclo de vida.

3. Elementos de competência[9] que ganharão importância para o segmento

A difusão mais intensa das tecnologias emergentes e o impacto de eventos geopolíticos, econômicos, sociais e políticos possuem um considerável potencial para transformar não somente os processos produtivos, mas também a lógica de funcionamento das empresas. Essas inovações tecnológicas podem impulsionar a implementação de novos modelos de negócio baseados em dados, hiperpersonalização, serviços integrados a produtos (servitização), produção sob demanda e cadeias digitais de valor. Em paralelo, surgem novas ferramentas gerenciais como plataformas de gestão em tempo real, sistemas baseados em inteligência artificial para apoio à decisão, metodologias ágeis aplicadas à engenharia de processos e práticas de governança baseadas em ESG e rastreabilidade digital.

Esse novo cenário impõe uma mudança substancial no perfil dos profissionais demandados pelas empresas da Base Industrial de Defesa. As tecnologias emergentes e os eventos de impacto, por si só, não transformam a indústria; eles exigem um novo conjunto de habilidades (*skills*), aptidões (*abilities*) e conhecimentos que permitam aos profissionais operarem sistemas complexos, interagirem com máquinas inteligentes, extraírem valor dos dados e colaborarem em ambientes híbridos e digitizados. Não se trata apenas de operar máquinas, mas de compreender os sistemas que as conectam, de analisar os dados que elas produzem e de tomar decisões baseadas em evidências. Isso exige uma formação sólida, constantemente atualizada e conectada às práticas do mundo do trabalho.

Portanto, há uma relação direta e intensa de impacto entre a difusão de novas tecnologias e novas configurações do ambiente de atuação, e a necessidade de reconfiguração das formações profissionais. À medida que as empresas do segmento se transformam, surgem novas funções, novos fluxos de trabalho e novas interações entre homem e máquina, exigindo dos profissionais um conjunto ampliado de competências que integram habilidades operacionais, capacidades cognitivas refinadas e conhecimentos técnicos atualizados.
Seguindo esta linha de raciocínio e baseado no contexto apresentado anteriormente, são apresentadas, a seguir, as principais habilidades, capacidades e conhecimentos que ganharão importância ao longo dos próximos 10 anos.

[9] O conceito de competência utilizado neste estudo refere-se à mobilização de conhecimentos, habilidades e aptidões necessárias ao desempenho de funções típicas do trabalho, realizada segundo padrões de qualidade e produtividade esperados pela natureza do trabalho incluindo a questão da empregabilidade. Os elementos que compõem uma competência podem assim ser definidos:
Habilidades (Skills) - O conceito de habilidade está relacionado à forma como as atividades são realizadas, à aplicação do conhecimento e à forma de agir e pensar. É desenvolvida por meio de treinamento (prática) ou experiência.
Aptidões (abilities) - O conceito de aptidão (ability) está relacionado às características das pessoas, ou seja, seu comportamento ao agir ou reagir a um produto, organização, pessoa, evento ou situação. A aptidão nem sempre é modificada ao longo do tempo. É a qualidade de ser capaz de fazer alguma coisa.
Conhecimentos - Considera-se o conhecimento como aquele explícito, que é definido por Nonaka e Takeuchi como sendo "o conhecimento transmitido por vias formais e sistemáticas, facilmente codificado por fórmulas, símbolos, normas e especificações. São facilmente difundidos pelos sistemas atuais de comunicação".

3.1 Habilidades (*Skills*)[10] que ganharão importância[11]

Integração de Sistemas (*Systems Integration*)

Categorias: Habilidades Técnicas → Projetos tecnológicos de sistemas e produtos e Análise de sistemas.
Descrição: projetar, integrar e validar subsistemas (blindagem, motor, suspensão, APS, eletrônica, comunicações) para operação conjunta dentro do veículo.
Por que é importante: plataformas futuras unem muitos subsistemas complexos (APS com IA, sensores LiDAR e Radar, propulsão elétrica, computação de borda), e as falhas na integração desses subsistemas causam incompatibilidades, perda de performance ou riscos operacionais.
Como capacitar: projetos multidisciplinares com *sprints* de integração, laboratórios de integração (HIL — *Hardware-in-the-Loop*), cursos de engenharia de sistemas e rotinas de co-design entre equipes mecânica, elétrica, eletrônica e software.

Cibersegurança e Resistência a Guerra Eletrônica

Categoria: Habilidades Técnicas → Fluência digital e Monitoramento de informações.
Descrição: implementar, auditar e operar medidas de segurança para redes veiculares, protocolos criptográficos, sistemas de detecção de intrusão e contramedidas contra guerra eletrônica.
Por que é importante: veículos conectados (computação tática de borda, redes ad-hoc) e sistemas autônomos são alvos de ataques que podem degradar capacidades ou converter plataformas em risco.
Como capacitar: treinamentos em segurança embarcada, exercícios *Red Team and Blue Team*, certificação em ciberdefesa e simulações de ataque e recuperação.

Análise de Dados

Categoria: Habilidades Técnicas → Monitoramento de operações e Análise e avaliação de informações e dados.
Descrição: interpretar telemetria IoT, aplicar modelos de prognóstico (IA e ML) e definir planos de manutenção baseados em condição.
Por que é importante: sensores embutidos e algoritmos permitem reduzir *downtime* e melhorar prontidão, fazendo com que os técnicos precisem transformar dados em decisões.
Como capacitar: curso prático para tomada de decisão baseadas em informações geradas por IA, IoT e ML, laboratórios com dados reais de sensores, programas *on-the-job* que misturam mecânica e análise de dados.

[10] A tipologia utilizada para a identificação das habilidades foi baseada naquelas definidas e utilizadas pela ESCO (European Skills, Competences, Qualifications and Occupations) e pelo Sistema O*NET (USA).

[11] As habilidades foram elencadas porque são motrizes para o trabalho, são acionadas por múltiplas tecnologias e eventos, são institucionalmente mandatórias, apresentam risco de escassez e sustentam tanto a absorção (5 anos) quanto a institucionalização (10 anos) das aptidões do segmento.

Projeto e Eletrônica de Potência (Veículos Elétricos e Híbridos)

Categoria: Habilidades Técnicas → Projetos tecnológicos, Instalação e Manutenção de equipamentos.
Descrição: projetar/diagnosticar inversores, gerenciamento de baterias (BMS), segurança HV e integração de fontes energia (*fuel cells*, baterias).
Por que é importante: a adoção de propulsão elétrica e híbrida altera sistemas de propulsão, requisitos de segurança e manutenção, exigindo engenharia especializada em eletrônica de potência e armazenamento.
Como capacitar: laboratórios de potência, simulações de BMS, certificação em segurança de alta tensão e estágios em projeto de veículos elétricos.

Fusão de Sensores, Percepção e Navegação Autônoma

Categoria: Habilidades Técnicas → Programação, Reconhecimento de padrões e Operação e controle.
Descrição: desenvolver e calibrar algoritmos de fusão (LiDAR, Radar, câmeras, IMU), planejamento de rotas e SLAM para operação em terrenos complexos.
Por que é importante: sistemas de navegação autônoma e UGVs dependem de percepção robusta em ambientes adversos, e a fusão de sensores aumenta confiabilidade frente a interferência e mau tempo.
Como capacitar: cursos de robótica, hackathons com datasets reais, testes em campo para navegação autônoma e uso da geolocalização, uso de simuladores e pipelines de validação.

Ensaios, Testes e Validação (*Field & Lab testing*)

Categoria: Habilidades Técnicas → Monitoramento, inspeção e testes e Análise de controle de qualidade.
Descrição: projetar e executar ensaios (balística, choque, EMI/EMC, performance elétrica), coletar dados e validar conformidade operacional.
Por que é importante: novos materiais, APS, DEW e componentes eletrônicos exigem protocolos rígidos de verificação para segurança e certificação operacional (ex: blindagens com metamateriais, APS com ML).
Como capacitar: programas de certificação interna, programas de transferência de tecnologia, campanhas de ensaio com instrumentação avançada, treinamento em normas e métodos metrológicos e simulação (DMU).

Engenharia de Materiais e Caracterização (incluindo Materiais Avançados para Blindagem)

Categoria: Habilidades Técnicas → Medição de propriedades físicas e Realização de estudos, investigações e exames.

Descrição: selecionar, testar e especificar materiais avançados (compósitos, metamateriais) para otimizar *proteção vs massa* e comportamento em impacto e DEW.
Por que é importante: materiais inovadores mudam processos de fabricação e exigem caracterização mecânica, térmica e eletromagnética.
Como capacitar: parcerias com laboratórios, ICT e IES, cursos de caracterização (calorimetria exploratória diferencial, análise por microscopia eletrônica de varredura e ensaios de impacto), estágios em P&D de materiais.

Manufatura Aditiva e Projetos para Impressão 3D

Categoria: Habilidades Técnicas → Projetos tecnológicos de sistemas e produtos, Instalação e Reparos.
Descrição: projetar peças com geometria otimizada para impressão 3D, bem como compreender materiais e pós-processamento para uso estrutural e reparos sob demanda.
Por que é importante: a impressão 3D reduz a dependência de cadeia logística e permite a fabricação de peças sob demanda, inclusive em depósitos de manutenção. Há necessidade de certificação para a aplicação das peças fabricadas por esse processo.
Como capacitar: oficinas de impressão 3D, projetos aplicados com requisitos militares, certificação em processos e de conformidade do produto de AM e controles não destrutivos.

Interação Homem-Máquina e Fatores Humanos (HMI e RA)

Categoria: Habilidades Sistêmicas → Análise de sistemas / Habilidades Sociais → Instrução e treinamento.
Descrição: projetar interfaces (*heads-up tdisplay*, RA) e ajustar fluxos de informação para redução da carga cognitiva e melhora do processo de tomada de decisão em combate.
Por que é importante: RA e sistemas de gerenciamento de carga cognitiva mudam a forma na qual os operadores recebem informações. Além do mais, a ergonomia e a interação homem máquina são críticos para eficiência e segurança.
Como capacitar: testes com usuários, cursos em IHC, simulações com RA, treinamentos com cenários operacionais e avaliações psicofisiológicas.

Gestão da Informação e Computação de Borda Tática

Categoria: Habilidades de Gestão → Gestão da Informação / Habilidades Técnicas → Fluência digital.

Descrição: projetar e gerir fluxos de dados embarcados, armazenamento seguro, sincronização com centros e priorização de mensagens em rede tática.
Por que é importante: a Computação de Borda reduz a latência e exige decisões sobre quais dados processar localmente. Soma-se a isso, a garantia de continuidade de operações sem dependência exclusiva de enlaces remotos.
Como capacitar: treinamentos em arquitetura de sistemas distribuídos, exercícios de rede tática, projetos práticos com edge devices.

Resolução de Problemas Complexos e Pensamento Crítico

Categoria: Habilidades Básicas → Pensamento Crítico / Habilidades de Resolução de Problemas Complexos.
Descrição: diagnosticar falhas multifatoriais, pesar *trade-offs* (peso vs proteção vs autonomia) e tomar decisões em condições de incerteza.
Por que é importante: os ambientes operacionais e de desenvolvimento estão, cada vez mais, complexos (tecnologias novas, restrições logísticas, riscos geopolíticos), e os profissionais precisam avaliar alternativas técnicas e operacionais rapidamente.
Como capacitar: estudos de caso, olimpíadas, competições, exercícios de jogos de guerra, metodologias de decisão multicritério e treinamentos em análise de falhas.

Gestão da Cadeia de Suprimentos e Sustentabilidade (ESG)

Categoria: Habilidades de Gestão → Gestão de recursos materiais e de recursos financeiros.
Descrição: planejar aquisição de materiais (minimizar risco de *commodities*), gerir fornecedores, aplicar critérios ESG e de rastreabilidade em sistemas de compra.
Por que é importante: a volatilidade nos preços do aço e terras raras, além do maior foco ESG, nas aquisições do setor de defesa demandam profissionais que combinem logística, compliance e estratégias sustentáveis.
Como capacitar: cursos em gestão da cadeia de suprimentos, compliance e ESG; exercícios de *sourcing* alternativo; implementação de sistemas de rastreabilidade digital.

Manutenção preditiva

Categoria: Habilidades Técnicas → Monitoramento de operações e busca por maior efetividade da manutenção.
Descrição: definir planos de manutenção baseados em condição, dados e telemetria.
Por que é importante: minimizar custos na manutenção na fase de operação do material e melhorar prontidão, fazendo com que os técnicos precisem transformar dados em decisões de manutenção.
Como capacitar: curso prático para tomada de decisão baseadas em informações geradas por IA, IoT e ML para manutenção, laboratórios com dados reais de sensores, programas *on-the-job* que misturam mecânica e análise de dados.

Tabela de Priorização das Habilidades Requeridas [12]

Escala

Score 10: prioridade muito alta.
Score 9: prioridade alta-muito alta.
Score 8: prioridade alta.
Score 7: prioridade média-alta.
Score 6: prioridade média.
Score 1–5: prioridade baixa.

[12] A priorização das skills foi realizada com base em critérios estruturados que avaliam sua relevância para a transformação do trabalho no segmento, considerando especialmente: (i) intensidade de reconfiguração das tarefas e processos, (ii) número de tecnologias emergentes e tendências não tecnológicas que acionam a habilidade, (iii) dependência regulatória e institucional, (iv) risco de escassez de proficiência, e (v) papel como habilidade motriz que viabiliza outras competências. Adicionalmente, incorporou-se a dimensão temporal, diferenciando habilidades críticas para absorção tecnológica no curto prazo (5 anos) daquelas necessárias para institucionalização e sustentação de capacidades no longo prazo (10 anos), em linha com a lógica de difusão sistêmica em setores concentrados.

Habilidade	Importância (5 anos)	Importância (10 anos)	Trajetória	Justificativa
Análise e integração de sistemas complexos	Muito alta	Muito alta	↔	Habilidade estruturante do setor. É base para integração de múltiplos subsistemas críticos e habilitadora de outras competências.
Cibersegurança e resistência à guerra eletrônica	Muito alta	Muito alta	↔	Habilidade mandatória e não opcional, com alta dependência regulatória e centralidade operacional crescente.
Ensaios, testes e validação (field & lab)	Muito alta	Muito alta	↔	Habilidade de garantia operacional e certificação, com elevada dependência institucional e regulatória.
Resolução de problemas complexos e pensamento crítico	Muito alta	Muito alta	↔	Habilidade transversal e habilitadora, sendo fundamental em ambientes de alta incerteza e integração.
Análise de dados	Muito alta	Muito alta	↔	Cada vez maior complexidade dos sistemas e volumes de dados, demandando IA, ML para tomada de decisão, desde os projetos.
Projeto e eletrônica de potência (VE/híbridos)	Muito alta	Muito alta	↑	Crescimento associado à eletrificação, mas ainda condicionado por infraestrutura e maturidade tecnológica.
Fusão de sensores, percepção e navegação autônoma	Alta	Muito alta	↑↑	Estimativa de forte crescimento sendo crítica para autonomia e UGVs.
Gestão da informação e computação de borda	Alta	Muito alta	↑	Habilidade motriz para digitização e operação em rede. Tende a se tornar crítica.
Engenharia de materiais e caracterização	Alta	Alta	↔	Crescimento ligado à blindagem avançada e novos materiais. Contudo, dependente de P&D e infraestrutura.
Gestão da cadeia de suprimentos e sustentabilidade (ESG)	Alta	Alta	↔	Pressão crescente por ESG e volatilidade de insumos críticos, que pode significar forte componente institucional.
Manufatura aditiva e design para AM	Média–alta	Alta	↑	Crescimento progressivo com impacto relevante em manutenção e logística, mas ainda não sistêmico.
Interação humano-máquina (HMI/RA)	Média–alta	Alta	↑	Ganha importância com aumento da complexidade cognitiva e operação assistida.
Manutenção preditiva	Média-alta	Alta	↑	Transição estrutural da manutenção reativa para a baseada em dados. Forte efeito em custos e prontidão.

3.2 Aptidões *(abilities)*[13] que ganharão importância[14]

Memorização Operativa (Memorização)

Categoria: Capacidade Cognitiva.
Descrição: retenção estável de procedimentos, sequências operacionais e checklists críticos (arranque, emergência, procedimentos de reparo rápido).
Por que é importante: em ambientes com alto nível de automação e interfaces digitais, ações de emergência (falha de APS, perda de comunicações, ataque cibernético) exigem respostas imediatas sem depender de guias eletrônicos. A capacidade de memorização reduz o tempo e os erros em alta pressão.
Como desenvolver: treinos repetitivos, simulações em condições de *stress*, exames práticos periódicos e uso de checklists memorizáveis.

Atenção Seletiva e aos detalhes

Categoria: Capacidades Cognitivas.
Descrição: capacidade de filtrar informações relevantes entre múltiplos painéis, alertas e fluxos de telemetria, mantendo foco nos sinais críticos.
Por que é importante: veículos modernos apresentam sobrecarga de sensores (LiDAR, radar, EO, telemetria). Operadores, e os técnicos, precisam distinguir falsos positivos e interferências (EW) de eventos reais.
Como desenvolver: treinamentos com cenários de *overload*, sessões de treino com múltiplas fontes de dados e exercícios de atenção sustentada.

Percepção de Problemas

Categoria: Capacidade Cognitiva.
Descrição: detectar indicadores precoces de falha, degradação de performance, anomalias operacionais ou sinais de intrusão/ameaça.
Por que é importante: os processos de manutenção preditiva, detecção de intrusão cibernética e operação autônoma dependem da capacidade de reconhecer padrões emergentes antes que falhem.
Como desenvolver: treinamento em análise de telemetria, simulações, exercícios de jogos de guerra, revisão de incidentes e rotinas de *sensemaking*.

[13] A tipologia utilizada para a identificação das aptidões foi baseada naquelas definidas e utilizadas pela ESCO (European Skills, Competences, Qualifications and Occupations) e pelo Sistema O*NET (USA).

[14] Essas aptidões foram selecionadas porque sustentam o desempenho humano em ambientes críticos, são acionadas simultaneamente por múltiplas tecnologias e eventos, possuem alto impacto estrutural no trabalho e baixo poder de substituição por sistemas de automação, sendo decisivas tanto para o horizonte de 5 anos (absorção e resposta) quanto para 10 anos (institucionalização e resiliência).

Pensamento Analítico

Categoria: Capacidade Cognitiva.
Descrição: avaliar dados, pesar *trade-offs* (peso vs proteção vs autonomia vs alcance) e tomar decisões fundamentadas.
Por que é importante: projetos e operações requerem decisões complexas (ex: empregar blindagem mais leve *vs* aumentar alcance de missão) baseadas em múltiplos critérios técnicos e logísticos.
Como desenvolver: estudos de caso, exercícios de decisão multicritério (MCDM), cursos em análise de dados aplicada à manutenção e operações.

Visualização Espacial

Categoria: Capacidade Cognitiva.
Descrição: imaginar e manipular mentalmente relações tridimensionais (roteiros, obstáculos, posicionamento de sensores e armas).
Por que é importante: navegação em terreno complexo, planejamento de empuxo e operações com UGVs e comboios dependem de boa orientação espacial. Também é útil na interpretação de mapas 3D gerados por sensores.
Como desenvolver: treinos de navegação, simuladores 3D, exercícios de leitura de mapas digitais e coordenadas.

Velocidade de organização e resposta

Categoria: Capacidade Cognitiva.
Descrição: rapidez em organizar informações e responder com ações apropriadas sob pressão temporal.
Por que é importante: os ataques eletrônicos, a perda de enlace ou as falhas de sistemas exigem respostas imediatas para preservar a missão e segurança da tripulação.
Como desenvolver: simulações em tempo real, exercícios de resposta a incidentes, treinos de tomada de decisão sob *stress* e com limitação de tempo.

Controle e Precisão e Destreza manual

Categoria: Capacidades Psicomotoras.
Descrição: capacidade para manipular componentes finos (conectores, sensores, módulos eletrônicos), ajustar atuadores e realizar reparos de precisão.

Por que é importante: manutenções de componentes eletrônicos, reparos de sensores e instalação de módulos de impressão 3D, exigem destreza para evitar danos e garantir montagem correta.
Como desenvolver: treinos práticos em bancada, cursos de eletromecânica fina, exercícios de reparo sob cronômetro.

Tolerância ao Estresse

Categoria: Capacidades Socioemocional.
Descrição: manter o desempenho cognitivo e emocional em operações de alta pressão, fadiga ou exposição a ambientes hostis.
Por que é importante: operações prolongadas, conflitos, exposição a ataques (DEW, EW) e decisões críticas demandam resistência para evitar erros por exaustão.
Como desenvolver: treinos de resistência, simulações prolongadas, programas de condicionamento físico e manejo do sono, e treino em cenários de *stress* controlado.

Adaptabilidade e Flexibilidade

Categoria: Capacidades Socioemocionais.
Descrição: ajustar rapidamente estratégias, aprender rotas alternativas e operar novos sistemas sem perda significativa de rendimento.
Por que é importante: ciclo rápido de inovação (novos sensores, SW, procedimentos) exige profissionais capazes de migrar entre modos operacionais e aceitar *upgrades* com pouca fricção.
Como desenvolver: rotação de tarefas, aprendizagem baseada em projetos (*project-based learning*), estudos de caso, desenvolver cultura de aprendizagem ao longo da vida e *microlearning*.

Curiosidade

Categoria: Capacidade Socioemocional.
Descrição: interesse ativo por novas tecnologias, metodologias e disposição para atualizar conhecimentos.
Por que é importante: a incorporação de IA, *edge computing*, manufatura aditiva e novos materiais exige atualização constante dos profissionais para manter relevância operacional.
Como desenvolver: incentivos a cursos, tempo dedicado para aprendizagem, programas de certificação continuada e bibliotecas técnicas internas.

Confiança e Iniciativa (tomada de decisão autônoma)

Categoria: Capacidades Socioemocionais.
Descrição: capacidade de assumir responsabilidades, tomar decisões operacionais quando necessário e acionar procedimentos sem supervisão imediata.
Por que é importante: em plataformas com maior autonomia, operadores podem ter que intervir em situações imprevistas, fazendo com que esta aptidão seja fundamental para facilitar o uso seguro de sistemas autônomos e *fallback* manuais.
Como desenvolver: simulações onde operadores lideram sequência de resposta, treino em delegação de autoridade e avaliações de performance em autonomia reduzida.

Sensibilidade Visual - Visão noturna e Percepção de contraste

Categoria: Capacidades Sensoriais
Descrição: capacidade de perceber detalhes visuais sob baixa luminosidade ou em telas com alto contraste (sensores EO/IR, HUDs, RA).
Por que é importante: operações noturnas, interpretação de imagens térmicas, HUDs e RA demandam acuidade visual específica. As aptidões sensoriais ainda são críticas para verificação e decisão.
Como desenvolver: treinos em ambientes de baixa luminosidade, familiarização com displays NVG e HUD e exercícios de interpretação de imagens térmicas.

Tabela de Priorização[15] das Aptidões Requeridas

Escala

Score 10: prioridade muito alta.
Score 9: prioridade alta - muito alta.
Score 8: prioridade alta.
Score 7: prioridade média-alta.
Score 6: prioridade média.
Score 1–5: prioridade baixa.

[15]A priorização das abilities considerou sua natureza disposicional e relativamente estável, sendo orientada por critérios que enfatizam a sustentação do desempenho humano em ambientes complexos e críticos, incluindo: (i) intensidade da exigência cognitiva e emocional, (ii) amplificação da demanda pela incorporação de tecnologias, (iii) baixa substituibilidade por automação, (iv) risco sistêmico associado a falhas humanas e (v) dificuldade de desenvolvimento tardio. A análise também incorporou a persistência temporal da relevância e o papel das abilities como base que sustenta múltiplas *skills*, refletindo sua função estruturante na operação de plataformas veiculares militares terrestres

Aptidão	Importância (5 anos)	Importância (10 anos)	Trajetória	Leitura estratégica
Atenção seletiva e atenção aos detalhes	Muito alta	Muito alta	↔	Base cognitiva crítica em ambientes saturados de sensores e dados sendo fortemente amplificada pela digitização.
Percepção de problemas (consciência situacional)	Muito alta	Muito alta	↔	Aptidão central para antecipação de falhas e tomada de decisão em sistemas complexos.
Pensamento analítico / julgamento	Muito alta	Muito alta	↔	Sustenta múltiplas skills técnicas, sendo pouco influenciada pela automação dos sistemas.
Velocidade de organização e resposta	Alta	Alta	↔	Crítica em ambientes de tempo real (combate, falhas sistêmicas), com alta exigência sob pressão.
Adaptabilidade / flexibilidade cognitiva	Muito alta	Muito alta	↔	Aptidão estruturante em ambientes tecnológicos dinâmicos.
Tolerância ao estresse / estabilidade emocional	Muito alta	Muito alta	↔	Essencial para desempenho sob risco e pressão operacional, sendo amplificada pela complexidade sistêmica.
Curiosidade e aprendizagem contínua	Muito alta	Muito alta	↔	Aptidão crítica para adaptação tecnológica.
Resolução sob incerteza (raciocínio abdutivo)	Alta	Muito alta	↑	Crescente com o uso da IA e autonomia. Os profissionais passam a decidir em contextos ambíguos e incompletos.
Multitarefa / gestão de múltiplos fluxos de informação	Muito alta	Muito alta	↔	Cresce juntamente com os sistemas integrados e interfaces digitais, exigindo coordenação cognitiva elevada.
Iniciativa e autonomia operacional	Alta	Muito alta	↑	Cresce juntamente com a descentralização decisória e sistemas autônomos supervisionados.
Coordenação e cooperação em equipe	Alta	Alta	↔	Importante para a integração sistêmica e operações em rede (network-centric).
Orientação espacial / visualização	Alta	Muito alta	↑	Aumenta a relevância em navegação e operação de sistemas tridimensionais e sensores.
Orientação para resultados (execução sob pressão)	Alta	Alta	↔	Sustenta o desempenho organizacional em ambientes de missão crítica.
Memorização operativa	Alta	Média–alta	↓	Importante no curto prazo, mas tende a ser parcialmente substituída por sistemas assistidos.
Controle e precisão psicomotora	Média–alta	Média	↓	Reduzida parcialmente pela automação e modularização, mas ainda relevante em manutenção e operação.

3.3 Conhecimentos que ganharão importância (comuns às ocupações)[16]

Engenharia de Sistemas Veiculares e Arquitetura de Sistemas

Descrição: modelos, métodos e normas para projetar arquiteturas funcionais e físicas que integrem subsistemas mecânicos, elétricos, eletrônicos e de software (ex: MBSE, UML, interfaces padrões).
Justificativa: uma vez que as plataformas modernas agregam muitos subsistemas (APS, sensores, propulsão elétrica, computação de borda), o conhecimento em engenharia de sistemas se torna necessário para garantir compatibilidade, interoperabilidade e gestão de requisitos durante o ciclo de vida do veículo.

Eletrônica de Potência e Gestão de Armazenamento de Energia (BMS)

Descrição: fundamentos de conversores DC/AC, inversores, controles de motor elétrico, baterias, células de combustível e sistemas de gestão de baterias (BMS), incluindo segurança HV.
Justificativa: a tendência de eletrificação e hibridização das plataformas exige conhecimento técnico para projetar, integrar, operar e manter sistemas de propulsão elétrica, bem como procedimentos de segurança frente a alta tensão.

Comunicações Táticas e Redes Veiculares (MANET, SATCOM, Link Tático)

Descrição: protocolos, arquiteturas de rede *ad-hoc*, priorização de tráfego, QoS, e integração com sistemas satelitais e centros de comando.
Justificativa: as operações dependem de comunicações resilientes e de baixa latência. Além disso, a computação de borda e a sincronização de dados táticos demandam conhecimento em redes para garantir disponibilidade mesmo sob interferência ou guerra eletrônica.

Cibersegurança Embarcada e Segurança da Informação

Descrição: criptografia aplicada, autenticação, gestão de chaves, análise de vulnerabilidades, práticas de hardening e normas de certificação de segurança embarcada.

[16] A seleção dos conhecimentos formais foi realizada com base em critérios estruturados que consideram: (i) aderência à natureza codificável e ensinável do conhecimento, (ii) transversalidade ocupacional ao longo das funções de engenharia, operação e gestão, (iii) conexão direta com tecnologias emergentes (ex. digitalização, IA, sistemas autônomos), (iv) resposta a pressões não tecnológicas como regulação, geopolítica e soberania, (v) aplicabilidade ao longo do ciclo de vida dos sistemas, (vi) contribuição para redução de riscos sistêmicos e (vii) robustez frente a cenários alternativos de desenvolvimento do setor.

Justificativa: veículos conectados e autônomos são vetores e alvos de ataques. O conhecimento padronizado em cibersegurança é crítico para projetar defesas, responder incidentes e atender requisitos de conformidade.

Sensoriamento, Fusão de Sensores e Tratamento de Sinais

Descrição: princípios e especificações de sensores (LiDAR, Radar, EO/IR, IMU), métodos de calibração, sincronização temporal e algoritmos formais de fusão e filtragem de dados.
Justificativa: autonomia, navegação e consciência situacional dependem da qualidade e integração de múltiplos sensores. Estes conhecimentos asseguram validação e interoperabilidade.

Controle, Robótica e Algoritmos de Autonomia (SLAM, Planejamento de Trajetória, ML aplicados ao Controle)

Descrição: modelagem dinâmica, controle clássico e robusto, técnicas de SLAM, planejamento de movimento e princípios de aprendizagem aplicada à automação.
Justificativa: UGVs e funcionalidades autônomas exigem bases formais para garantir comportamento previsível, verificável e seguro em ambientes operacionais complexos.

Materiais Avançados e Caracterização (compósitos, metamateriais, STFs)

Descrição: propriedades mecânicas, térmicas e eletromagnéticas de materiais; métodos de ensaio (tração, impacto, TEM e SEM) e critérios de qualificação para aplicação estrutural e de proteção.
Justificativa: novas soluções de blindagem e redução de massa dependem de seleção e caracterização rigorosa de materiais - conhecimento codificável em normas e especificações técnicas.

Sistemas de Proteção Ativa (APS) e Controles de Defesa (incluindo *DEW integration*)

Descrição: arquitetura funcional, interfaces de sensores e atuadores, algoritmos de resposta e critérios de certificação e segurança para sistemas de proteção ativa.
Justificativa: APS e contramedidas energéticas exigem protocolos de operação e integração formalizados para evitar efeitos colaterais (ex: lesão a pessoal, interferência em eletrônica) e assegurar desempenho.

Manutenção Preditiva, Monitoramento de Condições e Análise de Prognóstico

Descrição: metodologias para aquisição de dados de condição, modelos de prognóstico (PHM), KPIs de saúde de ativos, padrões de telemetria e procedimentos de decisão baseados em condição.
Justificativa: os sensores IoT e os dispositivos de *analytics* transformam o processo de manutenção. Estes conhecimentos permitem codificar regras de intervenção, SLAs e garantir redução de *downtime*.

Ensaios, Metrologia e Certificação (balística, EMC/EMI, vibração, choque, ambientais)

Descrição: normas de ensaio, procedimentos metrológicos, critérios de aceitação, instrumentação e protocolos de campanha de testes (laboratório e campo).
Justificativa: novos componentes e materiais exigem validação confiável; ensaios padronizados sustentam certificações operacionais e contratos de defesa.

Manufatura Aditiva e Qualificação de Processos (AM industrial)

Descrição: processos de manufatura aditiva (metais e polímeros), parâmetros de processo, pós-processamento e critérios de qualificação/controle não destrutivo para peças críticas.
Justificativa: a manufatura aditiva reduz *lead times* e permite reparos locais. Tais conhecimentos são necessários para garantir repetibilidade, certificação e segurança estrutural.

Engenharia Térmica e Gestão de Resfriamento (*eletrônica e armas DEW*)

Descrição: transferência de calor, projetos de gestão térmica para eletrônica embarcada, sistemas de arrefecimento para cargas de potência elevadas (DEW, inversores).
Justificativa: eletrônica de potência e armas de energia dirigida exigem controle térmico preciso para manter desempenho e evitar falhas térmicas.

Segurança Funcional e Normas de Confiabilidade (*safety-critical systems*)

Descrição: normas e métodos para análise de confiabilidade, segurança funcional (ex. metodologias *fault-tree*, FMEA, normas equivalentes a IEC 61508/MIL-STD quando aplicável).
Justificativa: sistemas autônomos e críticos requerem evidências formais de segurança e procedimentos para mitigar falhas que possam causar danos pessoais ou perda de missão.

Gestão da Cadeia de Suprimentos, Logística e Qualidade para Materiais Críticos

Descrição: procedimentos formais de qualificação de fornecedores (se possível nacionais), gestão de estoques estratégicos, contratos, rastreabilidade e compliance (incluindo critérios ESG onde aplicável).

Justificativa: a volatilidade de componentes estratégicos, questões geopolíticas e a necessidade de rastreabilidade tornam esse conhecimento essencial para manter produção e disponibilidade logística.

Interação Homem–Máquina (HMI), **Ergonomia e Normas de Interface** (HUD, AR)

Descrição: princípios de engenharia de interface, padrões para displays *head-up*, realidade aumentada, requisitos de usabilidade e técnicas de avaliação ergonômica, incluindo ergonomia cognitiva.
Justificativa: melhoria e padronização na HMI reduz a carga cognitiva da tripulação e aumenta eficiência operacional. Tais conhecimentos permitem especificar e validar interfaces seguras e eficientes.

Gestão de contratos e licitações

Descrição: conhecimentos básicos da legislação vigente a respeito de vendas e contratos governamentais nacionais e internacionais, incluindo "gov. to gov.".
Justificativa: necessidade de conhecimento e relacionamento institucional entre empresas e os governos (cliente monopsônico dos produtos do segmento).

Tabela de Priorização[17] dos Conhecimentos Requeridos

Escala

Score 10: prioridade muito alta.
Score 9: prioridade alta - muito alta.
Score 8: prioridade alta.
Score 7: prioridade média-alta.
Score 6: prioridade média.
Score 1–5: prioridade baixa.

[17] A priorização dos conhecimentos foi realizada com base na combinação estruturada das seguintes dimensões metodológicas: (i) centralidade estratégica para o segmento (impacto sobre soberania, integração e operação), (ii) grau de dependência regulatória e institucional (certificação, compliance e requisitos obrigatórios), (iii) intensidade de reconfiguração do trabalho (mudança nos processos e responsabilidades), (iv) número de tecnologias e tendências que ativam o conhecimento (digitalização, IA, autonomia, integração sistêmica), (v) risco associado à ausência do conhecimento (falhas críticas, perda de capacidade operacional ou contratual), (vi) temporalidade do impacto (absorção tecnológica em 5 anos versus consolidação em 10 anos) e (vii) dificuldade de internalização (necessidade de formação longa e infraestrutura especializada).

Conhecimento	Importância (5 anos)	Importância (10 anos)	Evolução	Justificativa da evolução
Engenharia de Sistemas Veiculares e Arquitetura de Sistemas	Alta - muito alta	Muito alta	↑	A crescente integração entre sensores, IA, APS, computação embarcada e sistemas de comunicação tornará a engenharia de sistemas uma competência estruturante para integração, interoperabilidade e gestão do ciclo de vida das plataformas.
Comunicações Táticas e Redes Veiculares	Alta - muito alta	Muito alta	↑	A evolução para operações *network-centric* e integração em tempo real entre plataformas, sensores e centros de comando tornará as redes táticas e a computação de borda capacidades críticas e institucionalizadas.
Cibersegurança Embarcada e Segurança da Informação	Alta - muito alta	Muito alta	↑	A crescente conectividade e autonomia das plataformas ampliará a superfície de ataque cibernético, tornando a proteção embarcada e a segurança da informação requisitos operacionais permanentes.
Sensoriamento, Fusão de Sensores e Tratamento de Sinais	Alta - muito alta	Muito alta	↑	Sistemas autônomos, navegação resiliente e consciência situacional dependem diretamente da integração e validação de múltiplos sensores, aumentando a centralidade desse conhecimento.
Ensaios, Metrologia e Certificação	Alta - muito alta	Muito alta	↑	O aumento da complexidade tecnológica das plataformas ampliará a necessidade de validação formal, certificação e conformidade operacional de sistemas críticos e materiais avançados.
Segurança Funcional e Normas de Confiabilidade	Alta - muito alta	Muito alta	↑	Sistemas críticos, autônomos e embarcados exigirão evidências formais de confiabilidade e mitigação de falhas, tornando safety-critical systems um conhecimento central do setor.
Controle, Robótica e Algoritmos de Autonomia	Alta	Alta - muito alta	↑	Mesmo com restrições doutrinárias à autonomia plena, a incorporação gradual de funções autônomas e sistemas de apoio à decisão aumentará significativamente a demanda por controle avançado e algoritmos inteligentes.
Gestão da Cadeia de Suprimentos, Logística e Qualidade para Materiais Críticos	Alta	Alta - muito alta	↑	A crescente dependência de componentes estratégicos, rastreabilidade e resiliência logística ampliará a importância da gestão integrada da cadeia de suprimentos de defesa.
Interação Homem–Máquina (HMI), Ergonomia e Normas de Interface	Alta	Alta - muito alta	↑	A expansão de interfaces digitais, realidade aumentada e sistemas de apoio cognitivo exigirá maior sofisticação em ergonomia operacional e engenharia de interfaces.
Materiais Avançados e Caracterização	Alta	Alta - muito alta	↑	A busca por redução de peso, aumento da proteção e novas soluções de blindagem impulsionará a importância da caracterização avançada de materiais e processos de validação estrutural.

Conhecimento	Importância (5 anos)	Importância (10 anos)	Evolução	Justificativa da evolução
Gestão de contratos e licitações	Alta	Alta	↔	O caráter monopsônico e institucional do setor continuará exigindo elevado conhecimento regulatório e contratual, porém sem tendência de crescimento disruptivo em relação ao nível já existente de relevância.
Sistemas de Proteção Ativa (APS) e Controles de Defesa	Média-alta	Alta - muito alta	↑	A crescente relevância da proteção ativa frente a ameaças modernas deverá ampliar progressivamente a demanda por integração, certificação e operação segura desses sistemas.
Eletrônica de Potência e Gestão de Armazenamento de Energia (BMS)	Média-alta	Alta	↑	Embora a eletrificação plena das plataformas permaneça limitada, haverá expansão gradual de sistemas híbridos, APUs, sensores energizados e eletrônica embarcada, ampliando a importância da gestão energética e segurança HV.
Manutenção Preditiva, Monitoramento de Condições e Prognóstico	Média-alta	Alta	↑	A incorporação gradual de sensores, IoT e analytics embarcado favorecerá a evolução da manutenção reativa para modelos preditivos baseados em condição operacional.
Engenharia Térmica e Gestão de Resfriamento	Média-alta	Alta	↑	O crescimento da eletrônica embarcada, sistemas APS, sensores avançados e futuras aplicações de DEW aumentará a necessidade de controle térmico sofisticado.
Manufatura Aditiva e Qualificação de Processos	Média	Alta	↑	A tendência de produção sob demanda e manutenção descentralizada deverá ampliar gradualmente a importância da manufatura aditiva, especialmente para peças específicas e reparos em campo.

3.4 Matriz Integrada de Orientação Formativa para o segmento

Eixo 1

Arquitetura, Integração e Ciclo de Vida das Plataformas

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Engenharia de sistemas e arquitetura (MBSE, MOSA)	Muito alta	Muito alta	Núcleo curricular estruturante.
Conhecimento	Gestão do ciclo de vida (PLM, ILS, *Digital Thread*)	Muito alta	Muito alta	Núcleo estruturante longitudinal.
Habilidade	Análise e integração de sistemas complexos	Muito alta	Muito alta	Execução técnica integrada.
Habilidade	Planejamento do ciclo de vida (*lifecycle thinking*)	Alta	Muito alta	Gestão técnica estratégica.
Habilidade	Manutenção preditiva	Média-alta	Alta	Execução técnica integrada.
Aptidão	Pensamento analítico sistêmico	Muito alta	Muito alta	Sustentação cognitiva estruturante.
Aptidão	Visualização e raciocínio sistêmico	Alta	Alta	Suporte à integração multidisciplinar.

Eixo 2

Software, Dados e Sistemas Inteligentes

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	IA, ciência de dados e analytics em sistemas críticos	Muito alta	Muito alta	Núcleo tecnológico central.
Conhecimento	Engenharia de software crítico e embarcado	Muito alta	Muito alta	Base do paradigma digital.
Habilidade	Tomada de decisão baseada em dados e incerteza	Alta	Muito alta	Decisão técnico-operacional.
Habilidade	Monitoramento e diagnóstico data-driven	Muito alta	Alta	Execução operacional analítica.
Aptidão	Raciocínio lógico e inferencial	Muito alta	Muito alta	Sustentação cognitiva.
Aptidão	Curiosidade e aprendizagem contínua	Alta	Muito alta	Adaptação tecnológica contínua.

Eixo 3

Validação, Certificação e Confiabilidade de Sistemas Críticos

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Verificação, validação e certificação (V&V)	Muito alta	Muito alta	Núcleo regulatório obrigatório.
Conhecimento	Normas, compliance e certificações (*export control*, ESG)	Muito alta	Muito alta	Base institucional crítica.
Habilidade	Testes, validação e verificação de sistemas	Alta	Alta	Execução técnica crítica.
Habilidade	Conformidade regulatória e pensamento normativo	Média–alta	Muito alta	Governança técnica.
Aptidão	Atenção concentrada e rigor técnico	Muito alta	Muito alta	Sustentação de confiabilidade.
Aptidão	Responsabilidade e julgamento crítico	Alta	Muito alta	Sustentação decisória.

Eixo 4

Conectividade, Cibersegurança e Interoperabilidade

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Cibersegurança em sistemas embarcados e OT/IT	Muito alta	Muito alta	Núcleo de proteção sistêmica.
Conhecimento	Arquiteturas de comunicação e interoperabilidade (C4ISR)	Alta	Muito alta	Infraestrutura crítica.
Habilidade	Gestão da informação e rastreabilidade técnica	Alta	Muito alta	Gestão de dados e compliance.
Habilidade	Integração de sistemas interoperáveis	Muito alta	Muito alta	Execução sistêmica.
Aptidão	Pensamento crítico para gestão de riscos	Alta	Muito alta	Sustentação estratégica.
Aptidão	Consciência situacional (situational awareness)	Alta	Alta	Suporte operacional.

Eixo 5

Engenharia Física Avançada (Materiais, Manufatura e Energia)

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Materiais avançados e multifuncionais	Alta	Alta	Base tecnológica especializada.
Conhecimento	Manufatura avançada e aditiva	Média–alta	Alta	Capacitação produtiva.
Conhecimento	Propulsão avançada e sistemas energéticos	Média	Média–alta	Conhecimento estratégico nichado.
Habilidade	Resolução de problemas complexos	Alta	Alta	Execução técnica transversal.
Habilidade	Execução e padronização de processos críticos	Alta	Média–alta	Confiabilidade operacional.
Aptidão	Raciocínio espacial e técnico	Alta	Alta	Suporte à engenharia física.
Aptidão	Persistência e precisão	Alta	Alta	Sustentação operacional.

Eixo 6

Gestão, Governança e Programas Estratégicos

Dimensão	Elemento	Prioridade (5 anos)	Prioridade (10 anos)	Papel formativo
Conhecimento	Gestão de programas complexos e defesa	Alta	Muito alta	Núcleo de governança.
Conhecimento	Políticas industriais, soberania e cadeias globais	Média–alta	Muito alta	Base institucional estratégica.
Habilidade	Comunicação técnica e coordenação interfuncional	Média–alta	Alta	Integração organizacional.
Habilidade	Gestão e priorização em ambientes críticos	Média–alta	Média–alta	Execução organizacional.
Aptidão	Inteligência social e colaboração	Alta	Alta	Sustentação organizacional.
Aptidão	Adaptabilidade a contextos complexos	Alta	Muito alta	Resiliência institucional.

Como se pode utilizar esta matriz

Instituições de Formação Profissional

- Utilizar os eixos como organizadores curriculares (núcleo comum + trilhas).
- Priorizar os Eixos 1, 2 e 3 em cursos técnicos e de graduação (base sistêmica e digital).
- Explorar os Eixos 4 e 5 em cursos técnicos avançados e especializações tecnológicas.
- Desenvolver o Eixo 6 em pós-graduação, MBAs e formação executiva.
- Estruturar laboratórios integrados (simulação + dados + testes) alinhados aos eixos.

Para Empresas da Base Industrial de Defesa (BID)

- Usar a matriz como mapa de capacitação e planejamento da força de trabalho.
- Direcionar treinamentos operacionais aos Eixos 2, 3 e 4 (dados, validação, ciber).
- Desenvolver lideranças técnicas a partir dos Eixos 1 e 6 (integração + governança).
- Estruturar programas internos de formação contínua com base no Eixo 2 (dados/IA).
- Apoiar mentorias focadas nas aptidões críticas (pensamento analítico, risco, adaptabilidade).

Instituições Responsáveis por Políticas Públicas

- Empregar os eixos como base para políticas nacionais de formação estratégica em defesa.
- Priorizar investimentos nos Eixos 2, 3 e 4 (5 anos) → riscos imediatos (digital, ciber, certificação).
- Priorizar estruturalmente os Eixos 1 e 6 (10 anos) → soberania e capacidade institucional.
- Usar a matriz para alinhar educação, indústria e defesa (redução de gaps sistêmicos).
- Integrar a matriz a programas de soberania tecnológica, transformação digital industrial e segurança e defesa nacional.

4. Profissionais Que Ganharão Relevância

A possível difusão das novas tecnologias e os impactos dos eventos, descritos anteriormente, poderão estabelecer um contexto futuro que demandará, por parte das empresas do segmento, profissionais que visam apoiar o setor na implementação e uso das novas tecnologias e desenvolvimento de produtos. A seguir, são apresentados os novos profissionais, nos níveis técnico e superior, que poderão ser demandados *vis a vis* a evolução tecnológica e os impactos dos eventos "não tecnológicos".

Nível Superior

Engenheiro de Defesa – Atua no desenvolvimento, integração e sustentação de tecnologias estratégicas voltadas à defesa nacional, envolvendo sistemas militares, plataformas terrestres, sensores, comunicações, armamentos e soluções críticas de soberania tecnológica. Trabalha na articulação entre requisitos operacionais, inovação tecnológica, segurança e capacidades industriais de defesa.

Engenheiro Físico – Integra conhecimentos de física aplicada e engenharia no desenvolvimento de tecnologias avançadas para defesa, atuando em áreas como sensores, fotônica, materiais avançados, sistemas eletromagnéticos, energia, navegação e tecnologias quânticas.

Físicos – Atuam no desenvolvimento e aplicação de tecnologias avançadas relacionadas à óptica, sensores, materiais, sistemas eletromagnéticos, navegação inercial e tecnologias quânticas para plataformas terrestres de defesa. Também contribuem na modelagem, simulação e análise de fenômenos físicos aplicados a sistemas militares complexos.

Engenheiro Químicos e Químicos - Desenvolvem e avaliam combustíveis, propelentes, fluidos especiais, materiais energéticos, revestimentos funcionais e soluções químicas aplicadas à proteção, mobilidade e sustentabilidade de plataformas militares. Também atuam na análise de compatibilidade, desempenho e segurança de materiais e processos industriais.

Engenheiro de Sistemas - Responsável pelo projeto e integração de subsistemas mecânicos, eletrônicos e de software de veículos militares (APS, sensores, comunicações, propulsão, IA). Atua em arquitetura de sistemas (MBSE), validação HIL e interoperabilidade entre plataformas.

Engenheiro de Computação, Eletrônico ou Telecomunicação - Atua no desenvolvimento, integração e manutenção de sistemas eletrônicos, computacionais e de comunicação embarcados em plataformas veiculares terrestres militares. É responsável por arquiteturas

de redes veiculares, sensores, sistemas de comando e controle, comunicações táticas, processamento de dados, interoperabilidade entre sistemas e proteção cibernética de sistemas críticos de defesa.

Especialista em Ciberdefesa – Contribui com o desenvolvimento e operação de protocolos de segurança para redes veiculares, criptografia, *hardening* de sistemas embarcados e contramedidas contra guerra eletrônica. Atua também na resposta a incidentes e certificação de segurança de sistemas críticos.

Especialista de Autonomia e Robótica Terrestre - Especialista em navegação autônoma, controle e percepção (SLAM, fusão de sensores, IA/ML). Projeta algoritmos de decisão para veículos tripulados e não tripulados (UGVs) e supervisiona a integração com sistemas de comando e controle.

Engenheiro e Cientistas de Materiais – Investiga, caracteriza, projeta e qualifica materiais para uso em blindagens e estruturas baseadas em metamateriais e fluidos espessantes. Coordena ensaios mecânicos, térmicos e eletromagnéticos e pesquisa novos compósitos com propriedades furtivas e anti-DEW.

Especialistas de Interação Homem–Máquina e Ergonomia Operacional - Planeja interfaces AR/HUD, *displays* de missão e sistemas de monitoramento cognitivo (EEG, rastreamento ocular). Garante que o operador mantenha consciência situacional e reduz a carga cognitiva sob *stress*.

Especialistas em Metrologia e Confiabilidade - Aplica metodologias FMEA, *fault-tree* e normas de *sistemas críticos de segurança* em veículos autônomos e sistemas de armas. Realiza análise de riscos e certificação de confiabilidade operacional.

Especialista em Manufatura Aditiva - Responsável pela produção de componentes sob demanda e pela rastreabilidade digital. Domina a impressão 3D metálica e de polímeros, a qualificação de processos MA, inspeções NDT e controle de qualidade.

Especialista em Certificação de Produtos - Responsável pela validação, conformidade normativa e certificação técnica de sistemas, componentes e plataformas militares conforme requisitos operacionais, regulatórios e de segurança. Atua na coordenação de ensaios, documentação técnica, rastreabilidade e homologação de produtos estratégicos de defesa.

Gestor de Sustentabilidade e Cadeia de Suprimentos Estratégica (ESG Defense) - Implementa práticas ESG e rastreabilidade digital na cadeia de suprimentos de defesa. Gerencia fornecedores críticos, estoques estratégicos e programas de economia circular para materiais e componentes sensíveis.

Especialista em Inovação – Atua na formulação e gestão de estratégias de inovação voltadas ao setor de defesa, considerando suas especificidades regulatórias, tecnológicas e operacionais, distintas de outros segmentos industriais. Trabalha com prospecção tecnológica, gestão de conhecimento sensível, parcerias estratégicas, *dual use Technologies*, mecanismos de proteção tecnológica e articulação entre indústria, governo, forças armadas e instituições de pesquisa.

Nível Técnico/Operacional

Técnico de Sistemas Veiculares - Atua na montagem, calibração e testes de subsistemas integrados (elétrico, eletrônico, ótico, mecânico). Trabalha em laboratórios de integração e ensaios HIL, garantindo conformidade entre módulos.

Técnico em Cibersegurança - Executa procedimentos de monitoramento de redes táticas, testes de vulnerabilidade, atualização de *firmware* seguro e auditorias de dispositivos embarcados. Apoia equipes de engenharia de ciberdefesa.

Técnico em Instrumentação - Realiza calibrações, instalações e testes de sensores (LiDAR, radar, câmeras), além de apoiar a validação de algoritmos de percepção e navegação. Trabalha com softwares de visualização e coleta de telemetria.

Técnico em Impressão 3D e Pós-Processamento - Opera impressoras 3D de metais e polímeros, realiza manutenção e pós-processamento de peças, e controla a qualidade dimensional e estrutural conforme normas militares.

Técnico em Ensaios, Testes e Certificação - Executa ensaios balísticos, de vibração, EMC e EMI e resistência ambiental. Responsável pela instrumentação, coleta e tratamento de dados de validação de sistemas.

Técnico em Automação Preditiva e Análise de Dados de Campo - Atua na instalação, calibração e manutenção de sensores IoT e sistemas de monitoramento embarcados em plataformas veiculares terrestres.

Analista de Dados - Coleta, integra e analisa dados operacionais provenientes de plataformas veiculares terrestres e sistemas embarcados, utilizando ferramentas analíticas

e algoritmos para identificar padrões, prever falhas potenciais e apoiar a tomada de decisão. Atua no monitoramento de desempenho, diagnóstico remoto e otimização da disponibilidade e confiabilidade operacional dos sistemas militares

Técnico em Eletrônica de Potência e Controle - Realiza montagem, ajustes e testes de conversores, controladores e sistemas de energia embarcados.

Técnico em Logística e Rastreabilidade - Opera sistemas logísticos e plataformas digitais de rastreabilidade de suprimentos.

5. Cursos que Poderão ser Demandados pelas Empresas do Segmento [18]

Engenharia de Sistemas para Produtos de Defesa

Público: Todas as Engenharias, incluindo, por exemplo: engenheiros mecânicos, elétricos, de *software* e de sistemas; além de coordenadores de integração; técnicos seniores de ensaio e validação.
Conteúdo: *Model-Based Systems Engineering* (MBSE); interoperabilidade entre subsistemas; integração *hardware–software (HIL/SIL)*; validação funcional; requisitos e rastreabilidade digital; metodologias ágeis aplicadas à engenharia.
Objetivo: Capacitar para o gerenciamento de equipes multidisciplinares para integrar sistemas complexos, garantindo interoperabilidade, confiabilidade e atualização modular das plataformas.

Cibersegurança para Sistemas de Defesa

Público: Engenheiros de *software* embarcado; técnicos de integração; analistas de redes e gestores de TI de defesa.
Conteúdo: Princípios de segurança embarcada; criptografia aplicada; *hardening* de sistemas e *firmware*; segurança em redes veiculares (CAN, Ethernet, MANET); exercícios de simulação de ataques e resposta a incidentes.
Objetivo: Desenvolver capacidade prática de proteger veículos militares contra ameaças cibernéticas e guerra eletrônica, aplicando o conceito de *security by design* em ambientes críticos.

Navegação Autônoma

Público: Engenheiros de software, robótica, sensores e automação; técnicos de calibração e integração.
Conteúdo: Princípios de LiDAR, radar e sensores EO/IR; algoritmos de fusão de sensores; SLAM; navegação autônoma; IA aplicada à percepção; testes e validação em campo.
Objetivo: Capacitar profissionais a desenvolver, calibrar e validar sistemas autônomos e semiautônomos com alta consciência situacional e resiliência em combate.

[18] A seleção dos cursos foi realizada com base em critérios estruturados que consideram: (i) alinhamento com conhecimentos explícitos e codificáveis, (ii) transversalidade ocupacional, (iii) conexão direta com tecnologias emergentes (IA, *digital twin*, integração sistêmica, cibersegurança), (iv) resposta a tendências não tecnológicas (regulação, geopolítica, soberania, ESG), (v) aplicabilidade ao longo do ciclo de vida dos sistemas, (vi) contribuição para mitigação de riscos técnicos e institucionais e (vii) robustez frente a diferentes cenários de desenvolvimento do setor, garantindo coerência com a lógica de transformação de capacidades e do trabalho no segmento de plataformas veiculares militares terrestres.

Materiais Aplicados à Defesa

Público: Engenheiros de materiais, mecânicos, químicos; técnicos de testes e certificação.
Conteúdo: Metamateriais e fluidos espessantes; fabricação de compósitos híbridos; propriedades termomecânicas e eletromagnéticas; ensaios balísticos e ambientais; simulação computacional; normas técnicas; requisitos e certificações militares.
Objetivo: Desenvolver competências técnicas para especificar, testar e integrar novos materiais de proteção, otimizando a relação peso–blindagem e a resistência a DEWs.

Manufatura Aditiva para Componentes de Defesa — Certificação e Processos

Público: Engenheiros de produção; técnicos de fabricação; operadores e inspetores de qualidade.
Conteúdo: Fundamentos de MA (metais e polímeros); parâmetros de impressão; pós-processamento; controle não destrutivo (END/NDT) e destrutivo; qualificação e rastreabilidade; gestão de estoque digital.
Objetivo: Habilitar profissionais para projetar, fabricar e certificar peças sob demanda, reduzindo dependência logística e aumentando a autonomia operacional.

Realidade Aumentada Operacional — Aplicações Militares

Público: Engenheiros de software; Instrutores militares; projetistas de interface; profissionais de ergonomia e operadores.
Conteúdo: Princípios de HMI e UX; design de HUDs e AR; sensores cognitivos (EEG, *Eye-tracking*); monitoramento da carga mental; testes com usuários e métricas de usabilidade.
Objetivo: Capacitar equipes para projetar e operar interfaces que melhorem a consciência situacional, reduzam a carga cognitiva e aumentem a precisão de decisão sob estresse.

Segurança Funcional e Confiabilidade de Sistemas Críticos — Normas e Prática

Público: Engenheiros de sistemas, de software e de testes; Gestores de q
ualidade e certificação.
Conteúdo: Normas IEC 61508 e MIL-STD aplicadas a sistemas críticos; FMEA, *fault-tree*, análise de confiabilidade; redundância e tolerância a falhas; auditorias e documentação de *safety cases*.
Objetivo: Permitir que os profissionais possam aplicar normas internacionais de segurança funcional e confiabilidade em sistemas de defesa.

Materiais Aplicados à Defesa

Público: Engenheiros de materiais, mecânicos, químicos; técnicos de testes e certificação.
Conteúdo: Metamateriais e fluidos espessantes; fabricação de compósitos híbridos; propriedades termomecânicas e eletromagnéticas; ensaios balísticos e ambientais; simulação computacional; normas técnicas; requisitos e certificações militares.
Objetivo: Desenvolver competências técnicas para especificar, testar e integrar novos materiais de proteção, otimizando a relação peso–blindagem e a resistência a DEWs.

Manufatura Aditiva para Componentes de Defesa — Certificação e Processos

Público: Engenheiros de produção; técnicos de fabricação; operadores e inspetores de qualidade.
Conteúdo: Fundamentos de MA (metais e polímeros); parâmetros de impressão; pós-processamento; controle não destrutivo (END/NDT) e destrutivo; qualificação e rastreabilidade; gestão de estoque digital.
Objetivo: Habilitar profissionais para projetar, fabricar e certificar peças sob demanda, reduzindo dependência logística e aumentando a autonomia operacional.

Realidade Aumentada Operacional — Aplicações Militares

Público: Engenheiros de software; Instrutores militares; projetistas de interface; profissionais de ergonomia e operadores.
Conteúdo: Princípios de HMI e UX; design de HUDs e AR; sensores cognitivos (EEG, Eye-tracking); monitoramento da carga mental; testes com usuários e métricas de usabilidade.
Objetivo: Capacitar equipes para projetar e operar interfaces que melhorem a consciência situacional, reduzam a carga cognitiva e aumentem a precisão de decisão sob estresse.

Segurança Funcional e Confiabilidade de Sistemas Críticos — Normas e Prática

Público: Engenheiros de sistemas, de software e de testes; Gestores de qualidade e certificação.
Conteúdo: Normas IEC 61508 e MIL-STD aplicadas a sistemas críticos; FMEA, fault-tree, análise de confiabilidade; redundância e tolerância a falhas; auditorias e documentação de safety cases.
Objetivo: Permitir que os profissionais possam aplicar normas internacionais de segurança funcional e confiabilidade em sistemas de defesa.

Gestão de Projetos Complexos em Defesa

Público: Gerentes de programa, gerente de portfólio, gerentes de projetos, engenheiros de produto, líderes de integração e equipes de P&D.
Conteúdo: Metodologias ágeis para engenharia; gestão de requisitos e rastreabilidade digital; MBSE e PLM; coordenação de times multidisciplinares; compliance em contratos militares.
Objetivo: Capacitar gestores e engenheiros para liderar projetos de alta complexidade tecnológica e contratual com foco em inovação e entregas em ciclo curto.

6. Desafios na formação e atualização da mão de obra

Legenda dos atores

Empresas - Organizações da Base Industrial de Defesa responsáveis pela produção, integração e entrega de bens e serviços, incluindo integradoras, fabricantes e fornecedores críticos. Atuam em ambientes regulados e dependentes de contratos públicos, com papel central na absorção tecnológica e na qualificação da força de trabalho.

Governo - Órgãos públicos que formulam políticas, regulam, contratam e fiscalizam o setor de defesa, atuando como cliente dominante e indutor de padrões técnicos, regulatórios e de formação de capacidades nacionais.

Instituições de Formação Profissional (IFPs) - Entidades responsáveis pela formação inicial, técnica, superior e pela capacitação contínua da mão de obra, traduzindo demandas do setor de defesa em currículos, cursos e trilhas formativas.

Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTs) - Centros e institutos que realizam P&D aplicado, ensaios e validação tecnológica, apoiando a indústria na adoção de tecnologias emergentes e na formação avançada de especialistas.

Escassez de profissionais híbridos e multidisciplinares

Desafio: dificuldade em formar profissionais que dominem simultaneamente mecânica, eletrônica, software embarcado, análise de dados e metrologia.

Impacto: plataformas inteligentes (APS, UGVs, sistemas híbridos) demandam perfis que cruzam fronteiras entre engenharia de sistemas, TI e operações. A ausência desses perfis limita a integração de tecnologias emergentes e aumenta o tempo de certificação e testes.

Ator	Papel Principal
Empresas	Definir perfis híbridos prioritários, com a criação de trilhas internas multidisciplinares e a oferta de projetos reais integradores e multidisciplinares.
Governo	Induzir e fomentar programas nacionais de formação híbrida, além de financiar reconversão profissional em áreas críticas (IA, sistemas, dados).
IFPs	Desenvolver currículos integrados (mecânica + eletrônica + software + dados) e adotar aprendizagem baseada em projetos reais, em integração com a BID.
ICTs	Apoiar formação avançada interdisciplinar, além de ofertar ambientes de experimentação e integração de sistemas, em integração com a BID.

Atualização lenta dos currículos técnicos e universitários

Desafio: a defasagem entre a evolução tecnológica (IA, propulsão elétrica, fusão de sensores) e a atualização dos programas curriculares em escolas técnicas e universidades.

Impacto: cursos ainda baseados em mecânica clássica ou elétrica convencional deixam lacunas em cibersegurança, robótica e sistemas autônomos, exigindo alto investimento empresarial em capacitação pós-formação.

Ator	Papel Principal
Empresas	Antecipar demandas tecnológicas e compartilhar roadmap de competências com IFPs.
Governo	Criar mecanismos ágeis de atualização curricular e flexibilizar regulação educacional para cursos emergentes.
IFPs	Implementar revisão curricular contínua, com modularização e microcredenciais em tecnologias emergentes.
ICTs	Apoiar a atualização de conteúdos, por meio da transferência de conhecimento de fronteira para programas formativos.

Escassez de infraestrutura laboratorial e *testbeds* integrados

Desafio: falta de centros de teste e validação integrados (*hardware-in-the-loop*, simulação autônoma, impressão 3D de componentes estruturais) para formação prática.

Impacto: treinamentos permanecem teóricos, com baixa exposição a sistemas embarcados e tecnologias emergentes, reduzindo a prontidão operacional da força de trabalho.

Ator	Papel Principal
Empresas	Coinvestir em laboratórios compartilhados e disponibilizar ambientes reais de teste (HIL, simulação, protótipos).
Governo	Financiar centros nacionais de teste e validação, com criação de infraestrutura tecnológica compartilhada.
IFPs	Implantar laboratórios integrados (simulação, IoT, manufatura aditiva), com uso intensivo de *testbeds*.
ICTs	Operar infraestrutura avançada e disponibilizar plataformas de teste e validação para formação prática e desenvolvimentos de projetos.

Retenção de talentos e migração para o setor civil

Desafio: profissionais de *software*, IA, dados e cibersegurança formados para defesa são atraídos por setores civis mais dinâmicos e lucrativos (automotivo, aeroespacial, energia).

Impacto: o *turnover* compromete a maturação de competências críticas e a segurança de informações sensíveis. Há risco de perda de *know-how* estratégico em ciberdefesa embarcada e integração de sistemas.

Ator	Papel Principal
Empresas	Criar planos de carreira atrativos com programas de retenção e incentivo à inovação, e projetos estratégicos motivadores.
Governo	Estabelecer incentivos à retenção de talentos (bolsas, carreiras estratégicas), além de estabelecer políticas de valorização de profissionais de defesa, manter a continuidade/ previsibilidade orçamentária dos projetos estratégicos.
IFPs	Fortalecer a identidade do setor de defesa, com a oferta de programas de formação com vínculo ao setor, integração com a BID para oferta de estágios e oportunidades no setor.
ICTs	Engajar talentos em projetos estratégicos de alto valor tecnológico, oferecendo bolsas e programas de pesquisa aplicada.

Dificuldade de integração entre empresas, Forças Armadas e instituições formadoras

Desafio: ausência de uma governança estável que articule empresas, Forças Armadas, ICTs e escolas técnicas em um ecossistema de formação coordenado.

Impacto: iniciativas de capacitação ocorrem de forma fragmentada e redundante, com lacunas entre necessidades industriais e a formação oferecida pelas instituições educacionais.

Ator	Papel Principal
Empresas	Participar ativamente da governança de formação, principalmente por meio do compartilhamento das necessidades e validação de perfis profissionais.
Governo	Criar estruturas permanentes de governança (ex: conselhos setoriais) para alinhamento defesa–educação–indústria.
IFPs	Codesenvolver currículos com empresas e Forças Armadas, além de integrar projetos reais ao ensino.
ICTs	Atuar como elo técnico entre atores, por meio do desenvolvimento de projetos colaborativos multi-institucionais.

Formação insuficiente em normas, certificações e segurança funcional

Desafio: carência de profissionais com domínio formal de normas de confiabilidade, sistemas críticos de segurança, ensaios e metrologia militar (IEC, MIL-STD, STANAG).

Impacto: a falta desse conhecimento formal atrasa certificações de sistemas críticos e impede exportações ou parcerias internacionais de alto valor tecnológico.

Ator	Papel Principal
Empresas	Capacitar equipes em normas (MIL-STD, STANAG, IEC), além de internalizar cultura de certificação.
Governo	Exigir conformidade normativa em contratos, além de apoiar programas de formação em certificação.
IFPs	Inserir conteúdos obrigatórios de normas, metrologia e segurança funcional nos currículos, com aplicação prática nos projetos de defesa.
ICTs	Desenvolver cursos avançados e apoiar ensaios, certificação e validação de sistemas críticos.

Baixa cultura de aprendizagem contínua (*Lifelong learning*)

Desafio: a resistência à atualização constante e à atualização técnica por parte da força de trabalho, especialmente entre técnicos experientes formados em sistemas analógicos.

Impacto: as rápidas mudanças tecnológicas tornam obsoletas práticas consolidadas, comprometendo a segurança operacional e o aproveitamento das novas tecnologias embarcadas.

Ator	Papel Principal
Empresas	Instituir trilhas permanentes de *upskilling* e *reskilling*; reservar tempo formal para aprendizagem; vincular progressão de carreira à atualização contínua.
Governo	Incentivar programas nacionais de aprendizagem ao longo da vida; financiar vouchers, bolsas e reconversão em áreas críticas da defesa.
IFPs	Ofertar microcredenciais, cursos modulares e formação empilhável; adotar formatos flexíveis e híbridos para profissionais em atividade.
ICTs	Atualizar continuamente conteúdos de fronteira; ofertar *workshops* avançados, residências tecnológicas e imersões curtas em tecnologias emergentes.

Escassez de instrutores e docentes especializados em tecnologias emergentes

Desafio: dificuldade de recrutar e capacitar docentes experientes em tecnologias emergentes.

Impacto: a falta de instrutores atualizados limita a expansão e a qualidade dos programas de capacitação, especialmente nos cursos técnicos e de atualização.

Ator	Papel Principal
Empresas	Ceder especialistas para docência compartilhada; apoiar programas de professor visitante da indústria; abrir plantas e projetos para formação de docentes. Participar mais dos sistemas de pós-graduação profissional e de inovação.
Governo	Financiar capacitação de formadores; criar programas de atração e retenção de docentes estratégicos; apoiar redes nacionais de capacitação docente em defesa. Incentivar a participação das empresas nos sistemas de pós-graduação.
IFPs	Desenvolver programas de atualização intensiva para docentes; estruturar co-docência com especialistas da indústria e ICTs; incentivar certificações técnicas do corpo docente.
ICTs	Apoiar formação avançada de instrutores; disponibilizar pesquisadores, laboratórios e conteúdos especializados para atualização docente contínua.

Limitações orçamentárias e dependência de contratos governamentais

Desafio: programas de capacitação e atualização dependem de ciclos orçamentários instáveis de defesa e de encomendas públicas, o que dificulta a continuidade das ações formativas.

Impacto: a descontinuidade impede a criação de programas estruturais de longo prazo e leva à perda de talentos treinados quando há hiato de projetos.

Ator	Papel Principal
Empresas	Desenvolver a dualidade no portfólio de produtos que não dependam exclusivamente do orçamento da defesa.
Governo	Dar previsibilidade a programas estratégicos; criar linhas estáveis de financiamento à formação.
IFPs	Estruturar ofertas modulares e escaláveis de menor custo; combinar formação presencial e digital; priorizar eixos estratégicos com maior efeito transversal.
ICTs	Atuar em redes e projetos cooperativos para diluir custos; integrar formação a projetos de P&D financiados; compartilhar infraestrutura com IFPs e empresas.

Síntese

Os desafios da formação profissional no segmento não decorrem apenas de lacunas educacionais, mas de um desalinhamento sistêmico entre a velocidade da transformação tecnológica e a capacidade institucional de resposta do ecossistema formativo. Superá-los exige ações coordenadas entre empresas, governo, IFPs e ICTs, com foco em formação híbrida, infraestrutura prática, atualização contínua e governança integrada da qualificação. Em termos estratégicos, os desafios reforçam que a resposta do ecossistema não pode se limitar à criação de novos cursos, ela precisa incluir formação contínua, preparação de docentes, financiamento estável e incorporação de princípios de governança tecnológica responsável.

7. Comentários Finais

Os resultados deste estudo evidenciam que o segmento de plataformas veiculares militares terrestres atravessa uma transição estrutural marcada pela crescente centralidade de sistemas digitais, pela integração de tecnologias complexas e pela intensificação das exigências regulatórias e operacionais. Nesse novo contexto, a competitividade e a capacidade de inovação da Base Industrial de Defesa passam a depender, de forma cada vez mais crítica, da disponibilidade de profissionais capazes de atuar em ambientes multidisciplinares, altamente integrados e orientados por dados.

A análise integrada das tecnologias emergentes, das tendências organizacionais e dos impactos sobre ocupações, conhecimentos, habilidades e aptidões revela a consolidação de um novo paradigma formativo, no qual competências relacionadas à engenharia de sistemas, *software* e dados, cibersegurança, validação e certificação, bem como capacidades cognitivas avançadas e habilidades transversais, assumem papel estruturante. Ao mesmo tempo, identificam-se lacunas relevantes na formação profissional, expressas na escassez de perfis híbridos, na defasagem curricular, na limitação de infraestrutura prática, na baixa cultura de aprendizagem contínua e na insuficiente articulação entre os atores do ecossistema.

Os desafios mapeados indicam que a superação dessas lacunas exige uma abordagem sistêmica e coordenada, envolvendo empresas, governo, instituições de formação profissional e instituições de ciência, tecnologia e inovação. Para as empresas da BID, destaca-se a necessidade de estruturar estratégias consistentes de capacitação e retenção de talentos, alinhadas às trajetórias tecnológicas do setor. Para o governo, reforça-se o papel indutor na formulação de políticas públicas, no financiamento de programas estruturantes e na criação de marcos regulatórios que favoreçam a formação de capacidades nacionais. Para as instituições de formação profissional, impõe-se o desafio de reconfigurar currículos, metodologias e modelos de oferta, de modo a responder com maior agilidade e aderência às demandas emergentes. Já as ICTs assumem papel fundamental na geração e difusão de conhecimento de fronteira, bem como no apoio à experimentação e validação tecnológica.

Em síntese, o estudo demonstra que a formação profissional no segmento não pode mais ser tratada como um elemento de suporte, mas como um vetor estratégico para a consolidação da soberania tecnológica, da resiliência industrial e da capacidade operacional do país. A adoção das diretrizes aqui apresentadas, aliada à implementação de mecanismos efetivos de coordenação entre os diferentes atores, será determinante para reduzir assimetrias de capacitação, acelerar a absorção tecnológica e posicionar o Brasil de forma mais competitiva no cenário internacional de defesa. Trata-se, portanto, de uma agenda estratégica que requer ação imediata e contínua, sob pena de comprometer o desenvolvimento futuro do segmento e sua contribuição para a segurança nacional.

Cadernos de

Prospectiva Industrial de Defesa

Segmento

PLATAFORMAS VEICULARES MLITARES TERRESTRES



FIA BUSINESS SCHOOL

CNI Confederação Nacional da Indústria

ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS