Aplicação da Engenharia de Sistemas para o projeto de uma Organização Militar especializada em operações aéreas não tripuladas

Daniel Rodrigues Nascimento Zampilis[1] e Marcelo Santiago Sousa[2]
[1]Diretoria de Aeronáutica da Marinha (DAerM), Rio de Janeiro/RJ – Brasil
[2]Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá/MG – Brasil

***Resumo* – Este artigo demonstra a aplicação da Engenharia de Sistemas e sua forma baseada em modelos (MBSE) na concepção de uma Organização Militar (OM) especializada em operações aéreas não tripuladas para a Marinha do Brasil. O estudo contrapõe as limitações da engenharia tradicional, focada em documentos estáticos, às vantagens da abordagem centralizada em modelos digitais, a qual garante maior rastreabilidade e integração de dados. Por meio de uma metodologia estruturada e ferramentas de modelagem visual, foram desenvolvidas as arquiteturas operacional, lógica e física da organização projetada. A análise soluciona desafios reais de comando, controle, logística e interoperabilidade devido ao emprego de Sistemas Aéreos Não Tripulados (SANT) nas operações navais. Conclui-se que o método empregado é altamente eficaz não apenas para o desenvolvimento de soluções tecnológicas, mas como um instrumento gerencial estratégico para planejar e estruturar entidades de defesa complexas, assegurando o alinhamento rigoroso entre as necessidades operacionais e as soluções implementadas.**

***Palavras-Chave* – Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, Sistema Aéreos Não Tripulados, Organização Militar.**

I. INTRODUÇÃO

Os Sistemas Não Tripulados (SNT) consolidaram-se definitivamente como tecnologias disruptivas no contexto da guerra moderna. Sua eficácia, no entanto, pressupõe uma profunda integração com os meios operacionais já existentes, o que tem impulsionado severas reestruturações organizacionais nas forças armadas globais, a exemplo da criação da Força de Sistemas Não Tripulados pela Ucrânia [15]. No cenário nacional, a Marinha do Brasil (MB) busca aprimorar a vigilância da "Amazônia Azul", destacando-se o papel do Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz) [10]. Frente ao elevado custo inerente ao patrulhamento tradicional, os Sistemas Aéreos Não Tripulados (SANT), uma subcategoria dos SNT, tornam-se vetores cada vez mais indispensáveis.

Os SANT encontram-se em evolução contínua, sendo substancialmente potencializados pela incorporação da Inteligência Artificial (IA) [16]. A introdução massiva de tais tecnologias impõe grandes desafios aos modelos organizacionais clássicos, sobretudo nos eixos de governança, capacitação e interoperabilidade.

Para gerenciar essa complexidade, a Engenharia de Sistemas, definida pelo INCOSE [9] como uma abordagem transdisciplinar, desponta como a disciplina estruturante ideal.

D. Rodrigues Nascimento Zampilis, danielzampilis@hotmail.com.br; M. Santiago Sousa, marcelo.santiago@unifei.edu.br.

Contudo, para que o setor de defesa extraia seu pleno potencial, é imperativa a transição das metodologias clássicas, centradas em documentos, para a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE). Por meio de softwares dedicados, como o Capella, a abordagem MBSE substitui textos estáticos por modelos visuais dinâmicos. A criação dessa "fonte única da verdade" garante a rastreabilidade de ponta a ponta e proporciona uma visão holística, mitigando riscos em projetos críticos.

Diante desse panorama, o objetivo principal deste artigo é aplicar os conceitos de Engenharia de Sistemas e MBSE na modelagem preliminar de uma Organização Militar (OM) especializada no emprego de SANT, em alinhamento com as demandas da MB e do Ministério da Defesa (MD). Fundamentado em um estudo prévio [20], o presente trabalho utiliza o software Capella para desenvolver e demonstrar as arquiteturas operacional, lógica e física da entidade proposta. Assim, busca-se ratificar a validade da abordagem sistêmica não apenas no âmbito do desenvolvimento tecnológico, mas também como uma excelente ferramenta gerencial para o planejamento e a estruturação de organizações militares.

O artigo encontra-se organizado da seguinte maneira: a Seção II descreve os materiais e métodos empregados; a Seção III apresenta os resultados da modelagem e as discussões pertinentes; e, por fim, a Seção IV consolida o estudo com as considerações finais.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção descreve os materiais e métodos adotados para a concepção de uma OM especializada em operações aéreas não tripuladas.

A. Sistemas Não Tripulados na Marinha do Brasil

A Marinha do Brasil (MB) consolida o emprego de Sistemas Não Tripulados (SNT) em suas operações, já empregando no vetor aéreo o RQ-1 *ScanEagle* do 1º Esquadrão de Aeronaves Remotamente Pilotadas (EsqdQE-1) em missões de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR) [11]. Simultaneamente, a Força Naval fomenta a pesquisa tecnológica nacional, destacando-se o desenvolvimento de uma lancha autônoma sob coordenação do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) [12]. Esse movimento evidencia a busca constante pelo domínio estratégico e operacional dessas inovações aplicadas ao ambiente marítimo.

A integração de SANT aos navios, testada em missões reais como o apoio do Navio-Aeródromo Multipropósito (NAM) Atlântico nas enchentes do Rio Grande do Sul em 2024 [2],

amplia a versatilidade da esquadra. Além do aprimoramento doutrinário em exercícios conjuntos, a MB inova em sua capacidade ofensiva, tendo realizado em 2025 testes pioneiros com drones "kamikaze" nacionais durante a Operação "Atlas Armas Combinadas", voltada à defesa do território amazônico [18].

B. Engenharia de Sistemas

Concebida como uma abordagem integradora, a Engenharia de Sistemas estrutura-se em duas fases primordiais. O domínio do problema define "o que" o sistema deve realizar, englobando a identificação de *stakeholders*, o diagnóstico do cenário, o mapeamento de problemas e objetivos, a Descrição do Conceito Operacional (OCD) e a definição e análise de requisitos [9]. Em complemento, o domínio da solução estabelece "como" o sistema será concebido, abrangendo a síntese das arquiteturas (física, funcional e operacional), a produção, os testes e a implantação [9]. Todo o ciclo é permeado por verificações contínuas, culminando na validação final do projeto frente aos objetivos iniciais.

C. Metodologia ARCADIA

A crescente complexidade dos sistemas modernos evidenciou as limitações das engenharias tradicionais focadas em documentos. Para superar a comunicação ineficiente e a inconsistência de dados, a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) surge como um novo paradigma. Ao adotar uma abordagem "centrada em modelos", o projeto passa a utilizar um modelo digital dinâmico central, garantindo a integridade da informação em todo o seu ciclo de vida.

Para a aplicação da MBSE, adotou-se a metodologia estruturada ARCADIA (*Architecture Analysis & Design Integrated Approach)*, que conduz o desenvolvimento garantindo que a definição das necessidades ("o quê") preceda a solução física ("como") [19]. O método assegura o rigoroso atendimento aos requisitos operacionais através de cinco etapas iterativas: Análise Operacional; Análise de Sistema; Arquitetura Lógica; Arquitetura Física; e a Estrutura de Decomposição do Produto Final (EPBS).

D. Software Capella

A operacionalização computacional do método ARCADIA dá-se por meio da ferramenta de código aberto Capella [4]. Este software transcende a funcionalidade de um mero aplicativo de modelagem gráfica, constituindo-se como um ambiente integrado de engenharia que orienta e assegura a aplicação rigorosa das etapas do método, provendo diagramas e perspectivas específicas para cada nível de abstração. Consequentemente, a sinergia entre ARCADIA e Capella consolida um *framework* prescritivo dedicado à engenharia de arquitetura, cuja estrutura formal mitiga ambiguidades e otimiza as análises de projeto.

III. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Esta seção descreve como é aplicado os conceitos de Engenharia de Sistemas e MBSE no projeto desejado. A etapa inicial do projeto é a estruturação dos problemas relatados pelos *stakeholders*, passando para a formulação de requisitos, culminando posteriormente em arquiteturas físicas e funcionais do sistema. Ao final da seção é possível analisar os resultados obtidos, bem como avaliar a aplicabilidade da abordagem em sistemas organizacionais militares, como para a MB e o MD.

A. Aplicação da Engenharia de Sistemas tradicional

O projeto é desenvolvido para atender aos *stakeholders* internos da MB, além de órgãos externos de regulação aeronáutica e do MD. Os interessados no sistema apresentam problemas que fundamentam a criação dos requisitos iniciais do sistema, conforme exemplificados na Tabela I. Os requisitos orientam o desenvolvimento, estabelecem metas e limites, e servem como métrica para as futuras etapas de Verificação e Validação (V&V).

TABELA I. PROBLEMAS, REQUISITOS E STAKEHOLDERS.

Problema	***Requisito***	***Stakeholder***
Baixa interoperabilidade entre os SANT e os demais meios operativos.	Contribuir para a interoperabilidade entre os SANT e os meios operativos da Força Naval.	Comando de Operações Navais (ComOpNav)
Aquisição descentralizada e não padronizada de SANT.	Orientar a aquisição e a Gestão do Ciclo de Vida (GCV) dos SANT.	Diretoria Geral de Material da Marinha (DGMM)

Essa modelagem desenvolve-se em duas perspectivas complementares: a física, que estrutura a hierarquia dos componentes técnicos e humanos sob um nível de abstração que balanceia custos e riscos operacionais; e a lógica (funcional), que define "o que" o sistema faz por meio da decomposição de funções, viabilizando uma análise neutra e independente de soluções tecnológicas [17]. O projeto é consolidado de forma iterativa, mapeando-se as funções lógicas aos respectivos componentes físicos.

Com o avanço do projeto, evidencia-se que o sistema é regido por requisitos de alto nível de naturezas administrativa e operativa, essenciais ao seu emprego em missões militares. Consequentemente, o desenvolvimento sistêmico passa a considerar os componentes físicos, internos e externos, e suas respectivas interfaces. A arquitetura do sistema integra elementos de ambos os domínios: de cenário administrativo, a exemplo do “Setor de Planejamento", ao escopo operacional, representado por um "Centro de Integração". Essa modelagem estrutural garante que as soluções físicas e suas interações satisfaçam plenamente ao extrato da arquitetura funcional proposta na Tabela II.

TABELA II. EXTRATO DE FUNÇÕES PROPOSTAS AO SISTEMA.

Funções	***Componente físico***	***Requisito***
F1. Realizar integração de sistemas. F2. Alimentar a consciência situacional da missão. F3. Participar de exercícios de interoperabilidade.	Centro de Integração	Contribuir para a interoperabilidade entre os SANT e os meios operativos da Força Naval.
F1. Planejar a modernização dos SANT. F2. Estruturar requisitos mínimos de novos SANT.	Setor de Planejamento	Orientar a aquisição e a Gestão do Ciclo de Vida (GCV) dos SANT.

B. Modelagem do Sistema

A modelagem do sistema, desenvolvida no ambiente de software Capella, abrange as quatro fases iniciais da metodologia ARCADIA. O processo inicia-se com a Análise Operacional, etapa delineada para assegurar o alinhamento do projeto com as reais necessidades de seus utilizadores. Esse alinhamento é alcançado por meio da definição sistemática sobre "o que" o sistema deve executar e os motivos subjacentes ("por que"), o que permite a identificação dos usuários da futura solução, bem como de eventuais relações de contenção entre eles [7].

O desenvolvimento da Análise Operacional partiu da identificação das partes interessadas (*stakeholders*) do sistema, consistindo na formalização dos atores e das entidades operacionais. Como recorte empírico, considerou-se os *stakeholders* inseridos em um ambiente de operação naval com o emprego de SANT. Adicionalmente, esta fase destina-se a analisar e descrever pormenorizadamente as Capacidades Operacionais, as quais traduzem as metas, os objetivos e as expectativas atribuídas ao sistema [7]. Nesse escopo, a MB atua em diversas frentes operacionais, com foco primordial na defesa da soberania nacional [10].

Por conseguinte, o Diagrama de Capacidades Operacionais (*OCB – Operational Capabilities Diagram*), ilustrado na Fig. 1, sumariza os atores e as entidades operacionais identificados, bem como o grau de envolvimento destes com as capacidades operativas da MB.

Para o avanço da modelagem, a capacidade operacional "Manter a Segurança Marítima" será aprofundada por meio da delimitação de cenários táticos. Entre esses cenários, destaca-se o emprego de SANT em missões de Inteligência, Reconhecimento e Vigilância (IRV), atuando em apoio aos meios navais no enfrentamento de atividades ilícitas nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB). Conforme evidenciado na Fig. 1, a disposição estrutural das entidades operacionais obedece a uma organização hierárquica baseada na atual cadeia de comando da MB, na qual o Comando de Operações Navais (ComOpNav), órgão central do setor operativo da instituição , coordena a totalidade das atividades atinentes aos meios navais e aeronavais [14].

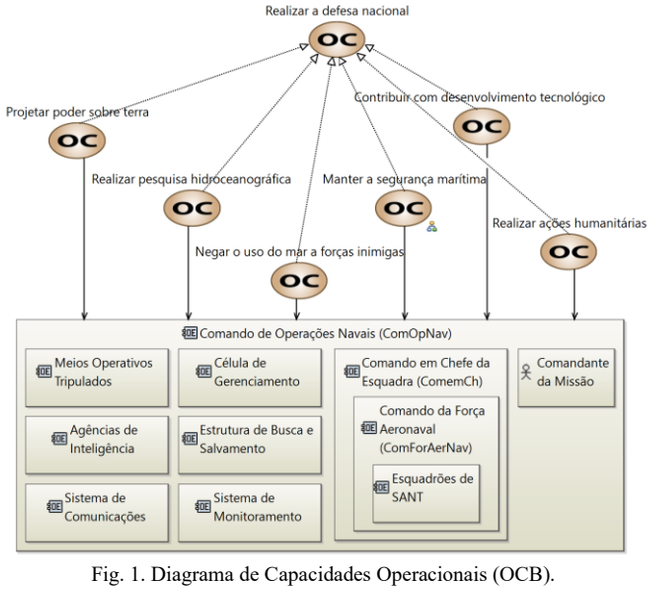


Fig. 1. Diagrama de Capacidades Operacionais (OCB).

Após a análise das necessidades operacionais dos atores e das entidades previamente definidos, realiza-se a identificação e a captura das atividades operacionais de cada parte interessada, bem como a sua respectiva alocação a cada ator e entidade [7]. Conforme ilustrado na Fig. 2, o recorte do Diagrama de Arquitetura Operacional (OAB – *Operational Architecture Diagram*) apresenta uma fração das atividades operacionais e das interações atribuídas ao Comando da Força Aeronaval (ComForAerNav) [13] e aos seus esquadrões subordinados de SANT, inseridos em um cenário de enfrentamento a ilícitos nas AJB.

Este artefato viabiliza o mapeamento das ações das entidades e dos atores operacionais sem, contudo, prescrever uma solução tecnológica. Desse modo, o sistema de interesse não é modelado nesta etapa inicial, delimitando-se exclusivamente o perímetro da análise. Tal abordagem assegura que a fase subsequente, correspondente à Análise do Sistema, mantenha total rastreabilidade e seja estritamente orientada pelas necessidades operacionais, mitigando o viés de uma solução preconcebida. Adicionalmente, no escopo da pesquisa desenvolvida [20], explora-se outro cenário tático concernente a missões de Busca e Salvamento (SAR) com o emprego de SANT. As atividades operacionais de ambos os cenários foram empregadas para detalhar a capacidade operacional descrita anteriormente, permitindo a efetiva captura de processos operacionais [7].

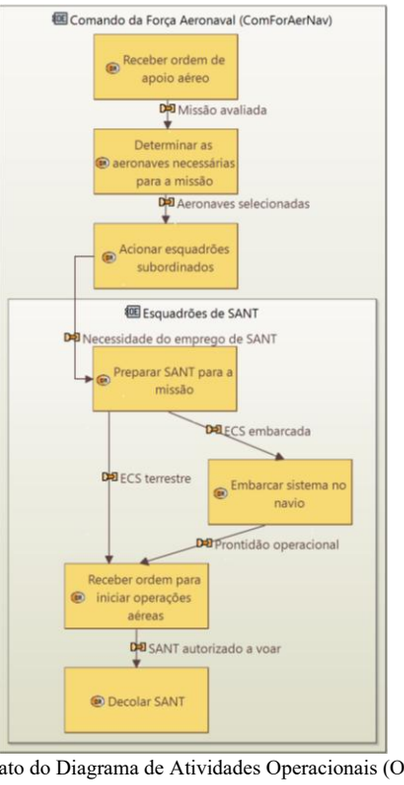


Fig. 2. Extrato do Diagrama de Atividades Operacionais (OAB).

Na fase subsequente, denominada Análise do Sistema, o raciocínio sistêmico é refinado com o intuito de viabilizar a definição formal do sistema de interesse. O contexto sistêmico é estabelecido a partir da transição dos atores, entidades e capacidades operacionais previamente mapeados na Análise Operacional, admitindo-se, nesta etapa, a identificação e a incorporação de novos elementos. Essa fase demarca as fronteiras do sistema e suas interações com o ambiente externo. A partir dessa delimitação, as atividades operacionais são refinadas em funções do sistema e em suas respectivas

trocas funcionais, as quais são posteriormente alocadas a um ator ou componente sistêmico [8].

Visualmente, a alocação funcional pode ser representada pelo Diagrama de Arquitetura do Sistema (SAB - *System Architecture Diagram*), cujo extrato é ilustrado na Fig. 3. Conforme observado, o sistema incorpora funções específicas, a exemplo de "Integrar SANT", resultante da análise de atividades operacionais precedentes ao embarque do SANT no navio ou durante a sua operação. Ademais, a metodologia ARCADIA possibilita o detalhamento hierárquico dessas funções raízes em subfunções mais granulares por meio do Diagrama de Decomposição das Funções do Sistema (SFBD - *System Function Breakdown Diagram*), conforme demonstrado na Fig. 4.

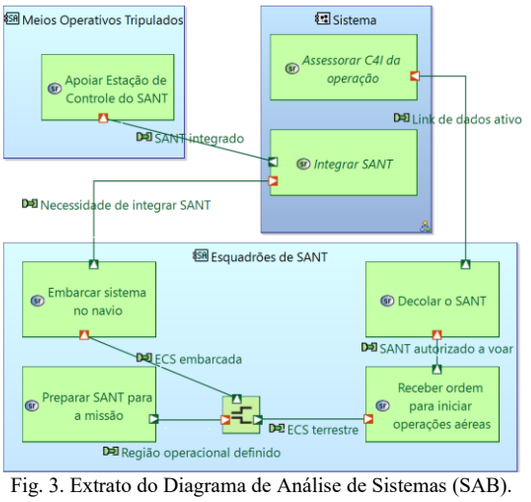


Fig. 3. Extrato do Diagrama de Análise de Sistemas (SAB).

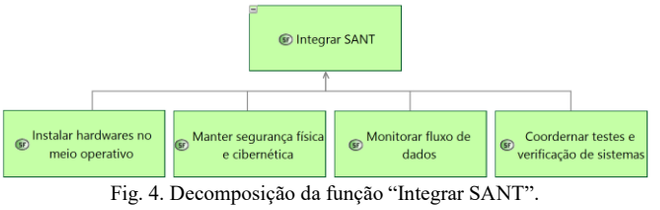


Fig. 4. Decomposição da função “Integrar SANT”.

Na fase de Arquitetura Lógica, a análise concentra-se na estruturação interna do sistema, visando à definição de seus subsistemas e ao mapeamento de suas respectivas funções para consolidar as diretrizes iniciais da solução. De modo análogo à etapa precedente, as capacidades nesta arquitetura derivam da transição das capacidades sistêmicas formalizadas anteriormente. Sob essa ótica, as funções e interações identificadas na Análise do Sistema são submetidas a um processo de refinamento, admitindo-se a incorporação de novas funcionalidades, caso necessário [6].

Subsequentemente à caracterização das trocas funcionais, determinam-se os componentes lógicos do sistema. Esses elementos atuam como blocos conceituais estruturantes, responsáveis pela execução das funções mapeadas e abstratos em relação às especificações tecnológicas, as quais serão definidas apenas na fase subsequente do projeto [6]. A alocação dessas funções aos respectivos componentes é representada pelo Diagrama de Arquitetura Lógica (LAB — *Logical Architecture Diagram*), cujo extrato é apresentado na Fig. 5. Conforme ilustrado, algumas relações são criadas, como as funções “Integrar SANT” e “Avaliar emprego de SANT” associadas ao componente lógico “Unidade Integradora do SANT”, viabilizando a execução de ambas.

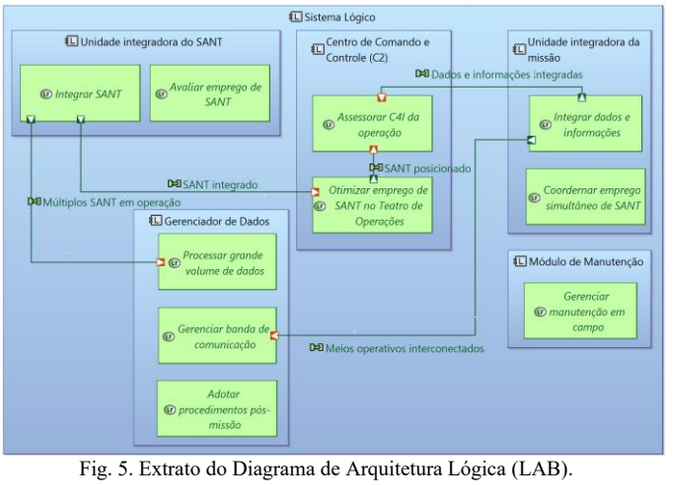


Fig. 5. Extrato do Diagrama de Arquitetura Lógica (LAB).

Como etapa final do processo de modelagem sistêmica, desenvolveu-se a arquitetura física preliminar, ilustrada pelo Diagrama de Arquitetura Física (PAB - *Physical Architecture Blank*) na Fig. 6. Essa fase tem como premissa a transição do modelo conceitual para a solução concreta, promovendo a alocação das funções e dos componentes lógicos, estabelecidos nas iterações prévias da metodologia, em recursos e entidades estruturais reais [5].

Para viabilizar a modelagem dessa arquitetura, a ontologia do software Capella estabelece uma distinção rigorosa entre duas categorias de componentes. Os Componentes Comportamentais (*Behavior Components*) definem-se como os elementos ativos encarregados da execução estrita das funções sistêmicas; no contexto deste modelo organizacional, representam as equipes, células ou grupos de trabalho operacionais. Em contrapartida, os Componentes de Implementação ou Nós (*Node Components*) operam como hospedeiros estruturais (*hosts*), provendo a infraestrutura organizacional, as instalações físicas ou os recursos materiais indispensáveis para alocar e suportar o comportamento do sistema [5].

Ao aplicar essa taxonomia ao modelo proposto (Fig. 6), instanciaram-se, no escopo mais abrangente do "Comando de Sistemas Aéreos Não Tripulados", os Componentes de Implementação denominados “Centro de Comando, Controle, Comunicações, Computação e Inteligência (C4I)” e “Centro de Treinamento e Apoio Logístico”, os quais apresentam áreas de atuação distintas e complementares. O nó referente ao “Centro de Treinamento e Apoio Logístico” direciona-se à dimensão de suporte técnico e de capacitação de pessoal, visando atender às demandas de gestão de material, consolidação de doutrina, treinamento com simuladores e processos de manutenção. Em contrapartida, o nó C4I concentra as atribuições voltadas à operação direta, com foco no gerenciamento, processamento e proteção do fluxo de dados oriundos dos SANT durante as missões, prestando, ainda, o assessoramento necessário à tomada de decisão tática.

A metodologia permite, ademais, o detalhamento hierárquico desses Componentes de Implementação em nós mais granulares, a exemplo do “Departamento de Comunicações e Segurança Cibernética”, abrigado pelo componente C4I. Este departamento encapsula componentes comportamentais como o “Grupo de Comunicações e Tecnologia da Informação”, que atende a funções vitais de controle, processamento e proteção do tráfego de dados na rede. Desse modo, a estruturação inicial e a integração desses

elementos asseguram a rastreabilidade das partes gerenciáveis do projeto, fornecendo uma base analítica robusta para desdobramentos futuros e garantindo que as reais necessidades operacionais e organizacionais dos usuários sejam plenamente atendidas.

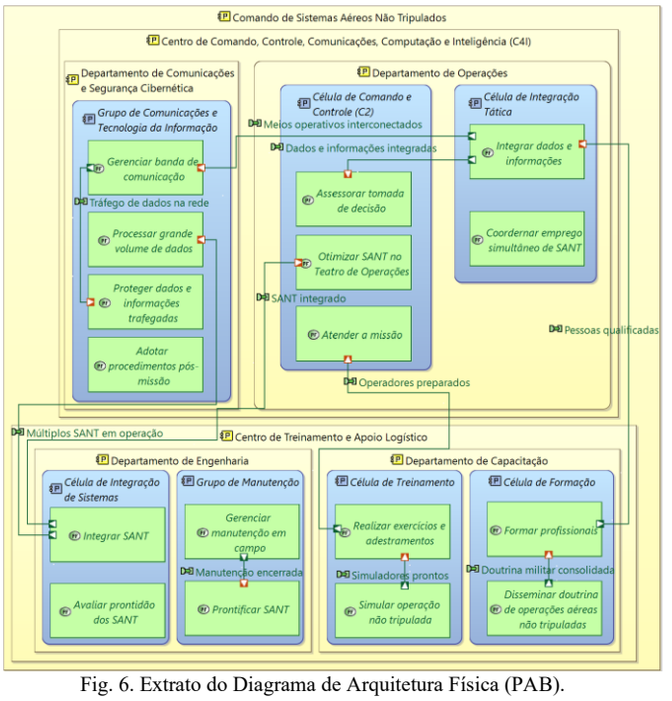


Fig. 6. Extrato do Diagrama de Arquitetura Física (PAB).

C. Análise comparativa

A utilização da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) através do ambiente Capella representa um novo paradigma na estruturação de organizações militares. Diferentemente da abordagem tradicional da Engenharia de Sistemas Centrada em Documentos (DCSE), que se apoia em textos normativos estáticos, propensos à desatualização e a ambiguidades, a MBSE introduz um ecossistema de modelos relacionais que são, ao mesmo tempo, dinâmicos e rigorosamente verificáveis.

Essa superioridade metodológica se destaca pela adoção do método ARCADIA, que substitui requisitos engessados por representações visuais centradas em atores e cenários de operação. A transição sistemática do Diagrama de Atividades Operacionais (OAB) para o Diagrama de Arquitetura do Sistema (SAB) garante um fluxo contínuo desde as necessidades primárias até a solução física. Esse processo mitiga falhas de interpretação e viabiliza análises temporais complexas em total alinhamento com as partes interessadas.

A eficácia prática e a rastreabilidade contínua da MBSE são evidentes na gestão de projetos militares de alta complexidade. Conforme ilustrado na Fig. 7, a resolução do desafio de interoperabilidade entre o SANT e os meios navais pode ser rastreada de forma lógica e direta, culminando na criação estruturada de uma célula de integração técnica.

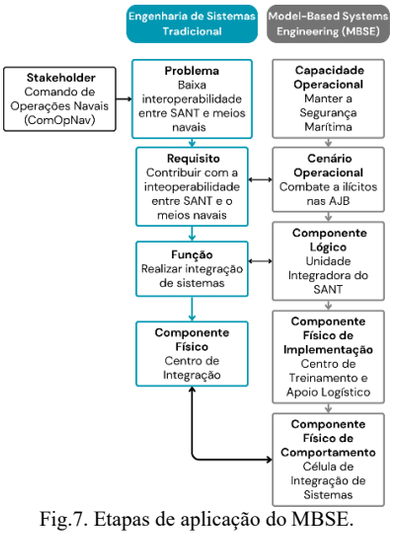


Fig.7. Etapas de aplicação do MBSE.

D. Contribuição para as Forças Armadas

A criação da Organização Militar (OM) especializada propõe uma resposta estruturada aos desafios de adequação tecnológica, logística e operacional impostos pela expansão dos SANT na Marinha do Brasil (MB) [20]. Como centro de integração técnica, operativa e doutrinária, a OM atua para unificar a doutrina de emprego de SANT, evitando a dispersão de esforços e embasando as diretrizes do Estado-Maior da Armada (EMA). Além disso, a estrutura direciona os investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) junto à Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico (DGDNTM), aumenta a eficiência dos processos de aquisição e logística em suporte à Diretoria-Geral do Material da Marinha (DGMM) e desenvolve a proficiência das equipes por meio de um centro de formação e treinamento especializado.

No âmbito tático e operacional, a unidade viabiliza integrar e sincronizar operações, o que permite respostas mais rápidas e eficientes nas funções de Comando e Controle (C2) subordinadas ao Comando de Operações Navais (ComOpNav), além de assegurar a interoperabilidade com os demais meios navais. A estrutura concebida atua de forma decisiva ao centralizar e otimizar o gerenciamento de dados e inteligência, expandindo sua utilidade para o nível interforças no Ministério da Defesa. Com isso, supre com precisão as demandas do Comando de Operações Aeroespaciais (COMAE) na gestão, controle e difusão de informações oriundas de sensores de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR) [3].

Por fim, a OM atua para otimizar a alocação de recursos estratégicos ao solucionar uma lacuna crítica de governança em geoinformação no escopo da Defesa e Segurança Nacional [1]. Configurada como um ativo centralizado de geointeligência aeronaval, a nova organização capacita a força a prover dados integrados de alta eficiência para escalões superiores e agências externas. Com essa infraestrutura, o novo Comando posiciona-se como um nó proeminente dentro da Comunidade de Geoinformação, atuando em perfeita sinergia institucional frente à eventual consolidação de uma Agência Nacional de Geoinformação (ANGeo).

E. Contribuição metodológica

Do ponto de vista científico e de gestão de projetos, o uso de linguagens como o *Systems Modeling Language* (SysML)

frequentemente se restringe ao desenvolvimento isolado do produto [19]. Este estudo avança ao transpor o método ARCADIA para o escopo da engenharia organizacional. Ao tratar a OM sob a ótica de *System of Systems* (SoS), a abordagem garante uma rastreabilidade automatizada e bidirecional que conecta as diretrizes estratégicas de alto nível às capacidades sistêmicas, físicas e humanas da instituição.

Dessa forma, a modelagem arquitetural permitiu antecipar gargalos críticos de integração de sistemas complexos, capacitação de pessoal, suporte logístico e fluxo informacional antes de sua implementação física [20]. A metodologia consolida-se como o alicerce teórico ideal para orientar investimentos em aquisições, PD&I e formação. Ao centralizar as informações em uma "fonte única da verdade", a abordagem otimiza o gerenciamento da complexidade, elimina redundâncias e desperdícios, fornece suporte rigoroso à tomada de decisão em nível estratégico e garante rastreabilidade dinâmica e auditabilidade ao longo de todo o ciclo de vida da organização.

IV. OBSERVAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a viabilidade e a eficácia da aplicação da Engenharia de Sistemas na concepção de uma Organização Militar (OM) focada em operações aéreas não tripuladas. Por meio dessa abordagem, desafios complexos, como a interoperabilidade, foram convertidos em uma solução arquitetural estruturada e exequível. A Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE), operacionalizada pelo método ARCADIA e pela ferramenta Capella, revelou-se robusta na tradução de necessidades operacionais críticas. No contexto da Defesa Nacional, essa metodologia consolida-se como um vetor de aprimoramento para a gestão e verificação de projetos, capaz de atender simultaneamente a múltiplos *stakeholders* da Marinha do Brasil e do Ministério da Defesa.

A principal contribuição científica deste trabalho consiste na expansão do uso do MBSE — tradicionalmente restrito ao desenvolvimento de produtos tecnológicos — para a estruturação gerencial e arquitetural de organizações militares. O modelo integrado proposto supera a ineficiência das abordagens tradicionais, baseadas em documentos estáticos, ao centralizar o Comando e Controle e a Gestão do Ciclo de Vida dos SANT na Força Naval. Simultaneamente, contribui para a governança de geointeligência no âmbito do COMAE, evidenciando que o emprego eficaz desses vetores exige uma governança institucional com dinamismo equivalente à complexidade da tecnologia.

Como limitações desta pesquisa, ressaltam-se a natureza conceitual do modelo, que foi delimitado empiricamente a um cenário restrito de combate a ilícitos nas AJB, a não realização de uma análise formal de requisitos e a não exploração de outras ferramentas e extensões disponíveis no software Capella. Para trabalhos futuros, recomenda-se a formulação de métodos de Verificação e Validação (V&V) da arquitetura proposta — mediante exercícios de mesa com especialistas e simulações computacionais de tráfego de dados — e a elaboração de uma *Work Breakdown Structure* (WBS) para o gerenciamento estruturado do projeto de implementação da OM. Por fim, sugere-se a expansão do modelo arquitetural para operações conjuntas de alta intensidade e o aprofundamento de estratégias para mitigar a resistência cultural à adoção do MBSE nas Forças Armadas.

REFERÊNCIAS

[1] A. P. R. Júnior, E. C. C. Guedes, S. Bernardon, “Geoinformação em apoio à Defesa e Segurança nacional: uma proposta de governança”, 2021, não publicado.

[2] Agência Marinha de Notícias. (2024, Julho) Ação inédita: aeronave SARP é lançada do “Atlântico” para mapear áreas atingidas no RS. Acesso em: 23/05/2026 [Online]. Disponível em: https://www.agencia.marinha.mil.br/defesa-naval/acao-inedita-aeronave-sarp-e-lancada-do-atlantico-para-mapear-areas-atingidas-no-rs.

[3] Comando de Operações Aeroespaciais, Plano Setorial do Comando de Operações Aeroespaciais para o Período de 2023 a 2026 (PCA 11-266). Brasília, DF: Comando da Aeronáutica, 2022.

[4] Eclipse Foundation. Capella: An Open Source Solution for MBSE. [Software]. Disponível em: https://mbse-capella.org/ .

[5] H. Castro. (2026) Capella Physical Architecture practical example. Acesso em: 22/05/2026. [Online]. Disponível em: https://iexcelarc.com/capella-physical-architecture-practical-example/.

[6] H. Castro. (2026) Logical Architecture: How to Perform Arcadia MBSE – Step-by-Step Illustrated Examples. Acesso em: 22/05/2026. [Online]. Disponível em: https://iexcelarc.com/logical-architecture/.

[7] H. Castro. (2026) Operational Analysis: How to Perform Arcadia MBSE – step-by-step illustrated examples. Acesso em: 22/05/2026. [Online]. Disponível em: https://iexcelarc.com/operational-analysis-step-by-step/.

[8] H. Castro. (2026) System Analysis: How to Perform Arcadia MBSE – Step-by-Step Illustrated Examples. Acesso em: 22/05/2026. [Online]. Disponível em: https://iexcelarc.com/system-analysis/.

[9] INCOSE, “Systems Engineering Handbook”, 1ed, Seattle, USA: International Council on Systems Engineering, 2006.

[10] Marinha do Brasil. (2020, Setembro) Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040). Acesso 22/05/2026. [Online]. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/pub_pem_2040/book.html.

[11] Marinha do Brasil. (2022, Setembro) RQ1 – Scan Eagle. Acesso 21/05/2026. [Online]. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/meios-navais/rq1-scan-eagle.

[12] Marinha do Brasil. (2024, Março) Marinha investe em tecnologia de Sistemas Não Tripulados para fortalecer o Poder Naval. Acesso 21/05/2026. [Online]. Disponível em: https://www.agencia.marinha.mil.br/ciencia-e-tecnologia/marinha-investe-em-tecnologia-de-sistemas-nao-tripulados-para-fortalecer.

[13] Marinha do Brasil. Histórico e Missão do Comando da Força Aeronaval. Acesso em: 21/05/2026. [Online] Disponível em: https://www.marinha.mil.br/comforaernav/historico.

[14] Marinha do Brasil. Histórico e Missão do Comando de Operações Navais. Acesso em: 21/05/2026. [Online]. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/comopnav/MissaoHistorico/missao-historico-e-heraldica.

[15] Norwood, Morgan; Pavlyk, Oleksiy. (2024, Junho) Ukraine focuses on drone warfare as military creates new unmanned systems branch. Acesso em 22/05/2026. [Online]. Disponível em: https://abcnews.go.com/International/ukraine-focuses-drone-warfare-military-creates-new-unmanned/story?id=111046806.

[16] Khan, M. A. et al. (2024, Agosto) A Review of AI-Enabled UAV-Based Systems for Defense Applications. Acesso em: 22/05/2026. [Online]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/411526897_A_Review_of_AI-Enabled_UAV-Based_Systems_for_Defense_Applications.

[17] Rechtin, Eberhardt; Maier, Mark W. The art of systems architecting, 2nd ed. CRC Press: Boca Raton, London, New York, Washington, DC, 2000.

[18] Soares, Ederson; Meireles, Daniela. (2025, Outubro) Pioneira, Marinha finaliza testes com drone tático de ataque durante Operação “Furnas 2025”. Acesso em: 28/05/2026. [Online]. Disponível em: https://www.agencia.marinha.mil.br/defesa-naval/pioneira-marinha-finaliza-testes-com-drone-tatico-de-ataque-durante-operacao-furnas.

[19] Voiron, Jean-Luc. Model-Based System and Architecture Engineering with the ARCADIA Method. Londres: ISTE Press-Elsevier, 2017.

[20] Zampilis, Daniel R. N. (2025, Dezembro) Projeto conceitual de uma organização militar especializada em operações aéreas não tripuladas. Acesso em: 27/05/2026. [Online]. Disponível em: https://hdl.handle.net/20.500.14867/848048.