



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

**DAVISON SILVA SANTOS, Cap Eng**

**Uso da prototipação para aprimorar o processo de desenvolvimento de novos sistemas de interesse da FAB**

Rio de Janeiro  
2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

**DAVISON SILVA SANTOS**, Cap Eng

**Uso da prototipação para aprimorar o processo de desenvolvimento de novos sistemas de interesse da FAB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Ciência Tecnologia e Inovação

Orientador: Allison Nunes Fernandes, Maj Eng

Rio de Janeiro

2024

**DAVISON SILVA SANTOS, Cap Eng**

**Uso da prototipação para aprimorar o processo de desenvolvimento de novos sistemas de interesse da FAB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

---

Thiago Diorgillis Ribeiro **Daniel**, Ten Cel Av  
EAOAR

---

**Allison** Nunes Fernandes, Maj Eng  
EAOAR

Rio de Janeiro

2024

## RESUMO

O desenvolvimento de novas tecnologias militares é um processo desafiador em função da necessidade de atender rigorosos requisitos, além da dificuldade de o cliente expressar o que ele de fato precisa. Nas últimas duas décadas, houve poucas soluções tecnológicas resultantes dos projetos conduzidos pelo DCTA que efetivamente foram implantadas para uso na FAB. Sem desconsiderar a complexidade envolvida no ciclo de vida de um produto de defesa, essa constatação levanta dúvidas sobre se houve um pleno entendimento do que os *stakeholders* precisam, ou sobre os cenários de uso em que a tecnologia deve ser empregada, e acerca dos riscos e custos de o setor privado produzir a solução em escala. Neste ensaio defende-se a prototipação para aprimorar o processo de desenvolvimento de novos sistemas de interesse da FAB, buscando ampliar identificação de requisitos e redução de riscos. Trata-se de empregá-la com o propósito de aprofundar o conhecimento sobre a demanda do cliente, permitindo maior experimentação por parte de quem vai usá-la, criando oportunidade para extrair mais *feedback* ao longo do desenvolvimento do sistema, maximizando a chance de a solução tecnológica atendê-la. Além disso, a prototipação favorece a identificação precoce de riscos embutidos no seu desenvolvimento, fornecendo informações valiosas para avaliar a viabilidade do produto final. Espera-se que ela possa ser adotada não apenas nos projetos do DCTA, mas também naqueles que forem conduzidos por outros grandes comando, como DECEA, COMAE e COMPREP, cuja complexidade exija preocupações semelhantes.

**Palavras-chave:** Prototipação. Tecnologias. Sistemas. Riscos. Requisitos.

## 1 INTRODUÇÃO

O Departamento de Ciência, Tecnologia & Inovação da Aeronáutica (DCTA) é responsável por desenvolver ou adquirir novos sistemas de combate que fortaleçam capacidades militares da Força Aérea. Novas tecnologias militares são geralmente complexas de serem construídas principalmente devido a sua natureza interdisciplinar e normalmente precisam atender a exigências rigorosas e específicas, muitas vezes relacionadas ao desempenho, confiabilidade, durabilidade e adaptabilidade a vários ambientes.

As necessidades operacionais (NOPs) que dão origem a demanda por uma solução tecnológica raramente são expressas de forma minimamente suficiente a ponto de fornecer um entendimento claro do que o cliente precisa. Isso gera a dificuldade adicional de vislumbrar exatamente como aquela tecnologia vai ser usada e o risco ou custo de produzi-la, acrescentando desafios extras no gerenciamento desse tipo de empreendimento.

Há de se registrar que, considerando apenas os projetos do DCTA que se iniciaram no século XXI, houve poucas entregas que evoluíram para produtos bem-sucedidos a ponto de serem implantados para uso na FAB. Isso sugere que, quando concluídas, ou essas tecnologias não resolveram o problema do cliente, ou seus riscos e/ou custos as tornaram inviáveis de serem produzidas em escala. Desse modo, discute-se a necessidade de explorar novas abordagens de desenvolvimento que priorize a obtenção do máximo de informações possíveis sobre o que o cliente precisa.

Neste ensaio recomenda-se o uso da prototipação para aprimorar o processo de desenvolvimento de novos sistemas de interesse da FAB, visando ampliar a identificação de requisitos e à redução de risco.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Tomando por base a conceituação estabelecida por Northrop (2014) para sistemas complexos, pode-se considerar as tecnologias de defesa nessa categoria, porque praticamente todas elas são constituídas por vários componentes, relacionamentos entre seus subsistemas, *feedback loops* que contribuem para o comportamento geral do sistema, e, principalmente, pela dificuldade de prever os efeitos combinados produzidos pela interação entre suas partes.

A prática de prototipação para desenvolver sistemas complexos, tanto nos projetos de ciência, tecnologia & inovação no COMAER e no setor privado não chega a ser uma novidade. Além disso, ela é largamente usada em vários ramos da engenharia e principalmente no nicho da indústria do software. Kordon e Luqui (2002) descrevem a definição de protótipo adotada pelo IEEE<sup>1</sup> como sendo uma abordagem de desenvolvimento que busca a implementação de uma versão piloto do produto almejado. Em outras palavras, trata-se de projetar e construir um modelo preliminar tão próximo quanto possível ao produto final, de modo que tenha utilidade para o usuário experimentá-lo ou demonstrar um conceito.

Ao longo deste trabalho, será destacada a importância de não apenas empregar a prototipação no processo de desenvolvimento, mas também adotá-la com um propósito: melhorar a identificação de requisitos; e reduzir risco.

### 2.1 Ampliar a identificação requisitos

Identificar requisitos para novos sistemas de defesa pode ser demasiadamente complexo devido a vários fatores associados com a natureza e complexidade desse tipo de aplicação. Algumas dessas razões decorrem do comportamento dinâmico e evolutivo das ameaças à segurança, o que significa que esses sistemas devem adaptar-se continuamente. Devido ao fato de o cenário de ameaças ser incerto e mutante, novos requisitos podem surgir rapidamente ao longo do desenvolvimento de um sistema bélico.

Outra dimensão dessa complexidade se deve a necessidade dos sistemas de defesa serem projetados para operar em ambientes diversos e heterogêneo,

---

1 O IEEE é uma sociedade técnico-profissional internacional com sede em Nova Jersey, dedicada ao avanço da teoria e prática da engenharia nos campos da eletricidade, eletrônica e computação.

considerando os vários cenários, terrenos e condições operacionais. Em virtude da sua natureza multidisciplinar, as aplicações de defesa geralmente envolvem uma combinação de tecnologias, disciplinas e conhecimentos especializados que exigem sólida coordenação técnica em vários domínios, como eletrônicos, materiais, software e logística. Além de todos esses obstáculos, resta dizer que sistemas de defesa muitas vezes precisam operar perfeitamente com equipamentos de diferentes fabricantes e de vários ramos militares. Garantir a interoperabilidade adiciona camadas de complexidade à definição de requisitos.

Enfrentar esses desafios requer uma abordagem abrangente e adaptável à engenharia de requisitos, envolvendo colaboração entre equipes multidisciplinares, comunicação clara, validação e iteração contínuas durante todo o ciclo de vida de desenvolvimento.

Dentro da engenharia de requisito, Franz e Mjörberg (2020) consideram a prototipação como um processo que permite compreender o que um produto deve fazer e se uma solução sugerida é viável. Nesse mesmo trabalho, os autores sugerem o uso da prototipação como uma técnica para elicitación, testes e validação da usabilidade do produto.

Protótipos podem servir, de acordo com Petrakis *et al.*(2019), como ferramentas de aprendizado quando se trata de responder a questões específicas relacionadas a funcionalidade do produto ou informando sobre o quanto o produto satisfaz as necessidades do cliente.

Bo Kang *et al.* (2022) menciona os benefícios do emprego da realidade aumentada na prototipagem de produto, devido ao seu baixo custo e precisão em representar conteúdo 3D, visando a ajudar o usuário a obter informações que permitam construir modelos virtuais de produtos e observar suas funcionalidades. Por meio dessa experiência, o usuário tem a oportunidade de interagir com o protótipo, levantar falhas, sugerir melhorias ou recomendar adaptações, proporcionando *feedback* a proposta apresentada.

Embora a prototipação já seja utilizada nos projetos das organizações militares (OMs) do DCTA, principalmente no Instituto de Estudos Avançados (IEAv), ela tem sido pouco explorada com o propósito principal de coletar requisitos acerca da tecnologia desenvolvida. Na maioria dos casos, os protótipos desenvolvidos como entregáveis dos projetos são elaborados partindo-se do princípio de que já se tem conhecimento prévio e suficiente de aonde se pretende chegar com o

demonstrador de conceito. Por essa razão, tem-se optado muito pelos protótipos físicos, com um custo maior, mas necessário, dependendo do produto final que se deseja alcançar. Protótipos físicos são mais apropriados na etapa de desenvolvimento em que já se construiu uma base sólida de requisitos ou um entendimento maduro da tecnologia. Nessa fase, mudanças drásticas nos requisitos causam atrasos significativos no andamento do projeto. O tipo de prototipação mais adequada para levantamento de requisitos é por meio de protótipos virtuais, fazendo uso de modelagem & simulação ou realidade aumentada ou realidade virtual, técnicas que de modo geral exploram uso intensivo de ferramentas computacionais. Essa abordagem permite muita flexibilidade para realizar modificações e ajustes no modelo que representa o sistema de defesa projetado. Kent *et al.* (2021) discorre sobre as forças e fraquezas dos protótipos virtuais e físicos sugerindo que o uso das duas técnicas combinadas no mesmo processo de desenvolvimento trazem benefícios que correspondem ao somatório de suas vantagens quando analisadas isoladamente. Diante do exposto, defende-se neste estudo que nos projetos de desenvolvimento de novas tecnologias de defesa se gaste mais tempo com a prototipação virtual nas fases iniciais do projeto para que se possa extrair o máximo de conhecimento possível de como determinada tecnologia vai ser usada, seus cenários de emprego e suas restrições. Posteriormente, com a obtenção de um conhecimento consolidado de seus requisitos e restrições, se avance para a prototipação física visando a construção de um modelo 3D semelhante ao produto final almejado, culminando no entregável principal do projeto, com o propósito validar o conceito.

## 2.2 Redução de riscos

Uma das maiores barreiras que dificulta a aproximação entre os institutos de pesquisa e o setor produtivo reside nos riscos inerentes ao desenvolvimento de novas tecnologias. A incapacidade de os potenciais usuários expressarem suas necessidades de um modo claro e exato, especialmente quando a solução correspondente é complexa, favorece a presença do risco do sistema desenvolvido não ser útil e gerar desperdício de recursos. Embora exista a vontade por parte do IEAv e do DCTA de que novos projetos contemplem a participação de empresas da Base Industrial de Defesa (BID), o desinteresse desse setor, motivado pela baixa

predisposição a participar de empreendimentos de alto risco tecnológico, reforça a necessidade de uma reflexão minuciosa acerca dessa variável. Os gerentes de projeto não tem controle sobre a disposição do setor privado em se interessar numa tecnologia de defesa, porque há vários fatores externos ao COMAER que conduzem uma empresa a tomarem essa decisão. Mas o setor produtivo só vai avaliar buscar parcerias com os institutos de ciência e tecnologia (ICTs) do DCTA, se as equipes que conduzem esses projetos envidarem esforços para reduzir as incertezas ao longo do desenvolvimento da solução tecnológica.

Sun e Chen (2011) discorre sobre o uso dos protótipos para redução de riscos em desenvolvimento de produto. Eles podem ser concebidos para revisões e utilizados para capturar críticas ou sugestões de melhorias por parte dos clientes, bem como serem testados para avaliar se o produto vislumbrado atende a sua necessidade. Uma das maiores vantagens da prototipação é a possibilidade de testar a tecnologia com usuários reais antes de encomendar sua produção em larga escala. Nesse caso, a qualidade do protótipo, mensurado pelo nível de fidelidade e semelhança com o produto final, é um atributo importante para que se consiga estimar antecipadamente o comportamento do produto final, realizar modificações imprevistas, conhecer dificuldades no atendimento de requisitos.

Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos (2022) recomenda para as Forças Armadas desse país o uso da prototipação como uma ferramenta para gerar informação capaz de apoiar uma decisão de ir adiante (ou descartar) um novo sistema de combate. Uma das vantagens que esse guia americano busca aproveitar na prototipação é tentar descobrir durante o desenvolvimento potenciais problemas técnicos, dando oportunidade de explorar modificações que permitam mitigar o problema antes de encomendar um lote desse sistema em escala.

Um exemplo interessante mencionado no guia de prototipação do DoD é o projeto que a IBM se propôs a desenvolver na década de 1970, que visava a criação de uma tecnologia de IA que transcrevesse a fala produzida por humanos em texto. A empresa precisaria fazer um grande investimento para adquirir computadores com poder computacional suficiente capaz de viabilizar essa tecnologia. Havia muitas preocupações por parte dos diretores da IBM se essa solução seria útil para os usuários. Para saná-las, os pesquisadores da empresa conceberam um protótipo com um propósito: ajudar a responder se a tecnologia agrega valor ou não. Para isso, eles fizeram uso de duas salas, em uma das quais colocaram um monitor de

computador e um microfone; na segunda sala, colocaram um microfone disponível aos empregados da empresa (representando os usuários da tecnologia) e um teclado de computador conectado ao monitor previamente alocado na primeira sala. A idéia desse protótipo era fazer com que os empregados da IBM escolhidos aleatoriamente falassem ao microfone e, sem eles perceberem, um pesquisador (posicionado na segunda sala e de posse do teclado) digitaria o que ouviu, de modo que o texto aparecesse o mais rápido possível no monitor, para que fosse visualizada a transcrição do texto pelo empregado que fez uso do microfone. Ao perguntarem aos funcionários da IBM que participaram do teste se eles tivessem um dispositivo que imitasse essa funcionalidade seria útil nas suas atividades diárias, houve como resposta forte aceitação. Ou seja, a prototipação foi usada para reduzir risco, na medida em que serviu para a empresa apostar no desenvolvimento dessa tecnologia com base no *feedback* daqueles que puderam interagir com o protótipo. A partir dessa experiência, a empresa tomou a decisão de fazer os aportes financeiros necessários para produzir um dispositivo inovador que provesse essa funcionalidade, muito utilizado nos dias atuais.

De modo geral destaca-se a importância de que nos projetos das OMs subordinadas ao DCTA a prototipação também seja empregada com intensa participação dos potenciais usuários, ou daqueles que tem condições de representá-los, com a finalidade de assegurar se o usuário perceberá valor naquela tecnologia, bem como se os desafios de ordem técnica e financeiro identificados são superáveis. Caso contrário corre-se o risco de gastar muito homem-hora com desenvolvimento de soluções que, apesar de apresentar aplicações promissoras para FAB, não atraia interesse dos *stakeholders* e, conseqüentemente, nem da BID.

### 3 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um novo sistema de defesa é um empreendimento que envolve uma miríade de desafios técnicos, operacionais e financeiros. Da conceituação à implantação, cada etapa do processo está repleta de complexidades que exigem planejamento meticuloso, testes rigorosos e adaptação contínua. A dificuldade em compreender as necessidades operacionais dos combatentes pode agravar significativamente os riscos associados ao desenvolvimento da tecnologia de defesa. As operações de combate são inerentemente complexas, dinâmicas e sujeitas a rápidas mudanças em táticas, estratégias e ambientes. A incapacidade de antecipar e abordar com precisão os requisitos pode levar a diversas consequências adversas que amplificam problemas no desenvolvimento desses sistemas.

Nas OMs subordinadas do DCTA, há um grande contingente de pessoal técnico altamente qualificado com grande capacidade de desenvolver soluções complexas e que paradoxalmente tem sido fortemente criticada pelas demais instâncias do COMAER por, na avaliação deles, não agregar valor esperado na modernização das capacidades operacionais da FAB nem atraído interesse significativo da Base Industrial de Defesa.

Discutiu-se neste ensaio a adoção da prototipação no processo de desenvolvimento de novas tecnologias de defesa em especial empregando-a com o propósito de aprimorar a identificação de requisitos e redução de riscos.

Foi sugerido que em fases iniciais do desenvolvimento de uma nova tecnologia sejam exploradas ferramentas de prototipação virtual, para ajudar a formar uma base sólida de requisitos contendo aqueles inicialmente ignorados, sem os quais produziriam uma solução inefetiva.

A prototipação também é colocada como uma abordagem que contribui para ampliar o conhecimento sobre o produto final almejado, permitindo estimar aceitação por parte dos potenciais usuários, antecipar dificuldades técnicas, evitar desperdício de recursos, visando a redução de riscos acerca do sistema pretendido.

Espera-se que essa abordagem possa ser empregada não apenas nos projetos de C&T do DCTA, mas também naqueles que forem conduzidos por outros grandes comando, como DECEA, COMAE e COMPREP, cuja complexidade exige uma abordagem semelhante.

## REFERÊNCIAS

DoD Prototyping Guidebook v3.1. Disponível em:

<https://www.dau.edu/sites/default/files/Migrated/CopDocuments/DoD%20Prototyping%20Guidebook%20v3.1%2020221025%201130.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2024.

FRANZ, L.; MJOBORG, A. Prototyping as a Requirements Engineering Technique. 2020. 72p. Dissertação (Mestrado em Computação) - Lund University. Lund.

KANG, B.; CRILLY, N.; NING, W.; KRISTENSSON, P. O. Prototyping to elicit user requirements for product development: Using head-mounted augmented reality when designing interactive devices. *Design Studies*, v.84. Elsevier Ltd. 2023.

KENT, L.; SNIDER, C.; GOPSILL, J.; HICKS, B. Mixed reality in design prototyping: A systematic review. *Design Studies*, v.77. Elsevier Ltd. 2021.

KORDON F; LUQI. An introduction to rapid system prototyping. In *IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING*. 2002. p. 817-821.

NORTHROP, R. B. Introduction to complexity and complex systems. CRC press, 2014.

PETRAKIS, k; HIRD, A; WODEHOUSE, A. The Concept of Purposeful Prototyping: Towards a New Kind of Taxonomic Classification. In: *PROCEEDINGS OF THE 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN (ICED19)*. 2019. Delft. Netherlands. p.1643-1652.

SUN, K.; CHEN, S. L. Risk Reduction via Prototyping in Customized Product Development. In: *21st CIRP DESIGN CONFERENCE*. 2011. Korea. p. 101-107