



SISTEMA DE ARMAS: UMA METODOLOGIA DE SISTEMA DE MÍSSEIS

José Carlos Albano do Amarante

INTRODUÇÃO

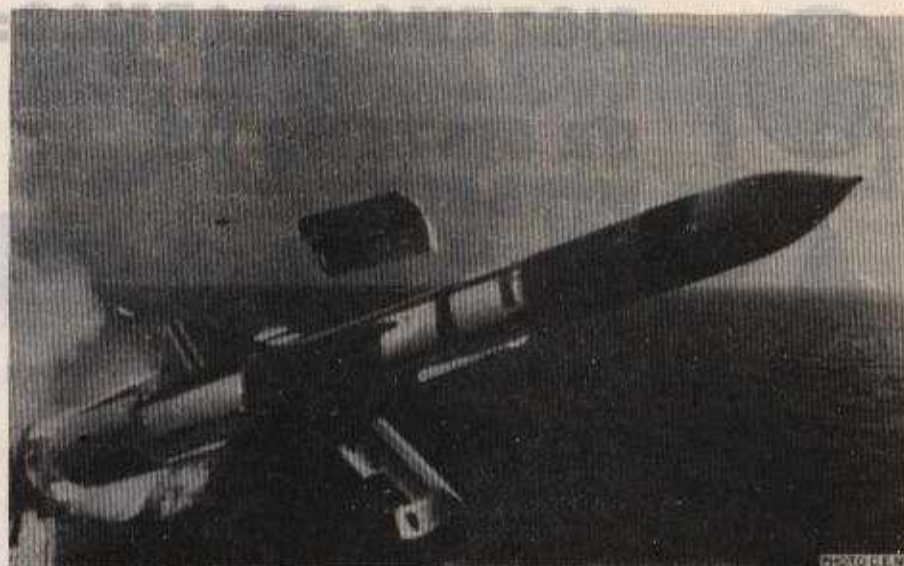
Durante o recente conflito das Malvinas, um mundo estarecido tomou consciência do surgimento de um novo tipo de armamento: o sistema de mísseis. O afundamento da ultramoderna e caríssima fragata inglesa Sheffield pelo míssil francês Exocet, disparado pela aviação argentina, caracterizou a importância dos sistemas de armas num teatro de operações. Entretanto, o desenvolvimento de tais sistemas é privilégio das nações desenvolvidas, figurando as nações em desenvolvimento e as nações subdesenvolvidas como meras usuárias desses armamentos.

O Brasil não pode omitir-se na busca acelerada da capacitação de desenvolver sistemas de mísseis autóctones. Para atingir essa meta, é fundamental o domínio de uma apropriada metodologia e a estru-

turação adequada no setor dos recursos humanos, na área de pesquisa e desenvolvimento e no campo industrial.

O objetivo deste estudo é a proposição de uma metodologia para o desenvolvimento de sistemas de mísseis. Indiretamente, visa também a contribuir para o debate, no âmbito da comunidade militar, relativo a esse conjunto complexo de equipamentos e pessoas, assunto de palpitante atualidade.

Inicialmente, procuramos discutir a problemática do desenvolvimento e despertar a motivação para uma obtenção metódica do sistema de armas. Dentre os tópicos abordados estão a evolução do armamento desde a lança até o sistema de mísseis, a competência na área de pesquisa e desenvolvimento, a capacitação técnica no parque industrial e o papel do tático no processo de obtenção do sistema de mísseis.



Na segunda parte, é feita a proposição de uma metodologia de obtenção de tais sistemas, identificando as fases relevantes do Ciclo de Vida dos Materiais. Na análise de cada uma dessas fases, é feita uma discussão cronológica das atividades aconselháveis para aquela obtenção.

A terceira e última parte apresenta as conclusões sobre o tema explorado.

A PROBLEMÁTICA DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MÍSSEIS

1-1. Da Lança ao Sistema de Mísseis

O desenvolvimento do armamento, ao longo da história, está diretamente associado ao do homem e é motivado pela necessidade que a criatura humana sempre teve de

defender-se e de manter as suas conquistas materiais e políticas e/ou psicossociais. Esse desenvolvimento decorre da premência de competir, com seus inimigos potenciais, na qualidade e no desempenho do material bélico. Ele é possibilitado pelas descobertas de novos fenômenos e pela contínua geração de conhecimentos científicos e tecnológicos.

O aumento da distância entre o combatente e o alvo tem sido um objetivo perseguido desde os tempos primitivos. Inicialmente, o homem procurou utilizar a energia muscular para impulsionar a lança e o binômio treinamento-habilidade física para assegurar um máximo desempenho no arremesso. Posteriormente, ele passou a explorar a energia química dos propelentes para aumentar tanto o peso do projétil quanto a distância letal e

utilizar o binômio treinamento-tecnologia para garantir um bom desempenho da arma.

A Revolução Industrial veio coarçar esse processo e a humanidade adentrou na Idade da Máquina podendo promover um enorme progresso na arte da guerra. A mecanização, característica dessa revolução, veio possibilitar a evolução do fuzil para a metralhadora. O pensamento analítico cartesiano, caracterizado pelo reducionismo, emprestou à humanidade uma ânsia enorme por explicações e pelo entendimento dos fenômenos.

A Segunda Grande Guerra catalisou a emergência da Idade dos Sistemas, cuja base se assenta sobre a cibernética-ciência do controle ótimo aplicável a processos complexos das áreas humana e tecnológica — e sobre o extraordinário progresso da Micro-Eletrônica. Essa nova idade é o produto de uma revitalizada estrutura intelectual, onde as doutrinas de mecanização e reducionismo e o modo analítico de pensar estão sendo complementados pela doutrina expansionista e por um novo modo de pensar sintético.

A visão expansionista focaliza a sua atenção sobre o todo, conhecido por sistema, enquanto que o pensamento sintético procura compreender como as partes desse todo se inter-relacionam e trabalham harmonicamente em seu proveito. Uma consequência dessa evolução é a sofisticação crescente do material bélico, provocando o aparecimento de uma complexa estrutura de mísseis, de equipamentos de solo e de

homens, conhecida como sistema de mísseis.

1-2. Conceituação Característica

a. Conceituação

O Sistema de mísseis não tem ainda sua conceituação inteiramente estabelecida. As IG 10-21, Instruções Gerais para as Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento no Exército, apresentam a seguinte definição para sistema de material: "combinação de materiais ou equipamentos, reunidos para desempenhar uma ou mais funções operacionais" (IG 10-21 — 1981,4).

SCHENDEL propõe para sistema de armas a conceituação que se segue: "é um conjunto complexo de equipamentos e homens, organizado de modo a formar um todo coerente, destinado a realizar uma missão militar" (SCHENDEL — 1983,4).

Basicamente, a diferença entre os enfoques reside em considerar ou não o homem integrante de um sistema. Na opinião do autor, as funções executadas pelo homem são de tal maneira decisivas, que tornam aconselhável a sua inclusão nessa composição.

Assim, pode-se visualizar um sistema de mísseis como um conjunto complexo de mísseis, equipamentos e homens, organizado de modo a formar um todo coerente, destinado a realizar uma missão militar, que pode ser entre outras: a destruição de carros de combate, a saturação de área, a redução de navios à inoperância, a destruição de instalações ou a interceptação de aviões.

b. Composição

A sofisticação do sistema de mísseis é proporcional ao número de funções originalmente atribuídas ao homem e que estão sendo, paulatinamente, delegadas tanto ao míssil quanto aos equipamentos de solo. Algumas das referidas funções são a detecção, a identificação, a designação, o acompanhamento e a destruição do alvo.

O sistema de mísseis tem composição variável que depende da missão militar e da tecnologia empregada para atender àquelas funções. De maneira geral é composto por:

- míssil;
- equipamento operacional: meio de vigilância e de observação, processador de informação, meio de perseguição ótica, rampa de lançamento, sistema de recarregamento, meio de telecomando, meio de telemetria, meio de transporte e outros;
- equipamento de apoio: meio de teste no campo, oficinas de manutenção, simuladores de treinamento e outros;
- pessoal operacional: guarnição;
- pessoal de apoio: instrutores, técnicos de manutenção, técnicos de suprimento e outros.

c. Duração

A vida do sistema de mísseis é variável, entretanto a figura 1-1 apresenta durações típicas das diversas fases envolvidas no ciclo total de existência.¹

1 — VILLEPELET, J. — 1975. *Méthodologie des Systèmes Missiles Sol-Air*. França (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées). Pg.1.16.

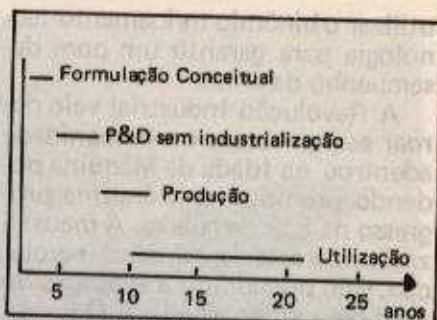


Figura 1-1. Vida típica de um sistema de mísseis

d. Custo

O custo de todo o programa associado ao sistema de mísseis é extremamente elevado, da ordem de 350 milhões de dólares^{2,3}. A composição dos custos apresentada na tabela 1.1 mostra a contribuição percentual de cada fase do ciclo de vida.

Fase	Villepelet ⁴	Blanchard ⁵
P&D (Sem Industrialização)	13,0	10,3
Industrialização e Produção	41,5	45,3
Utilização	45,5	39,9
Alienação	—	4,5

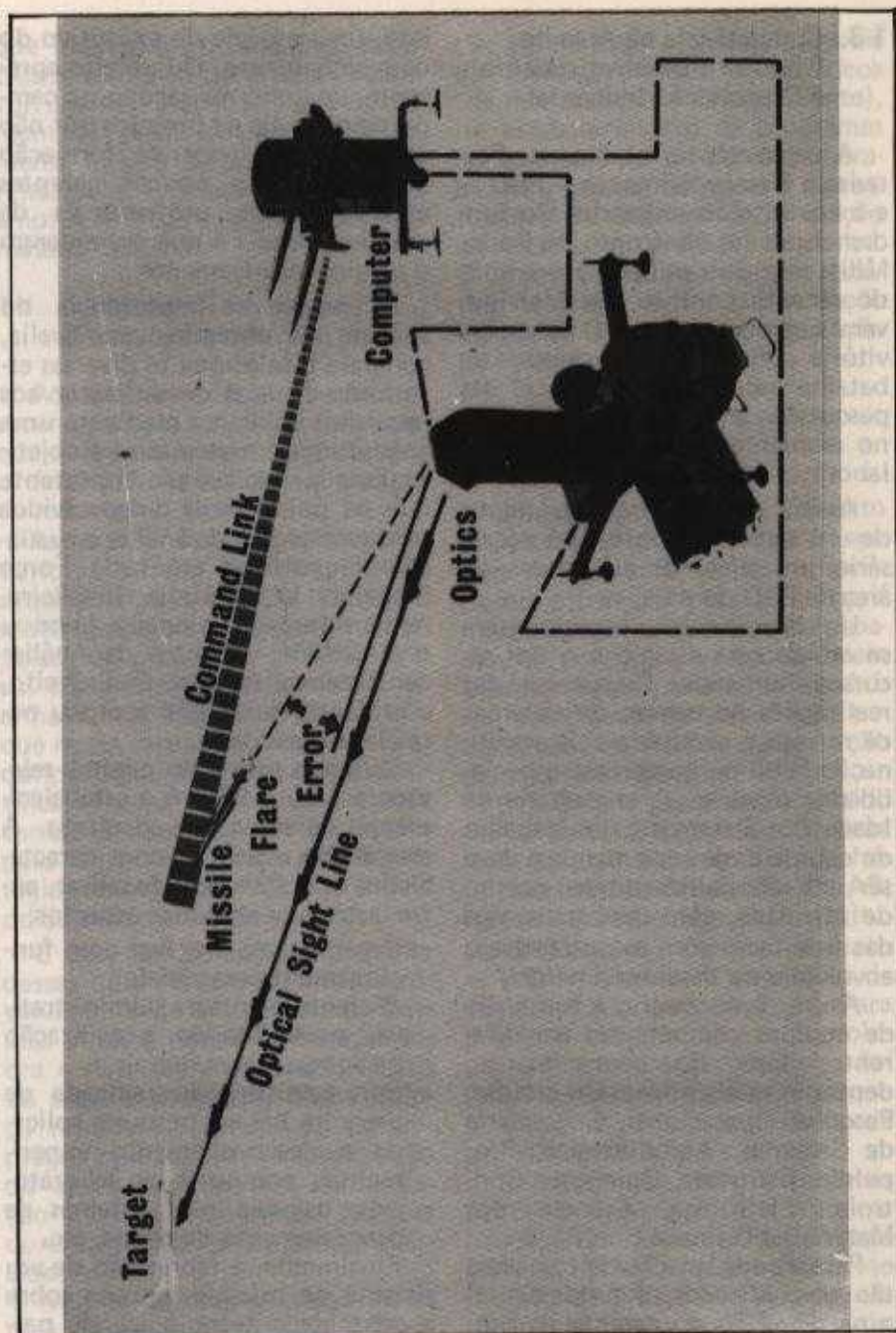
Tabela 1-1. Composição Percentual do Custo de Sistemas.

2 — VILLEPELET, J. — 1975. *Méthodologie des Systèmes Missiles Sol-Air*. França (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées). Pg 1-17.

3 — N. do A. — no documento original o custo é 1,5 bilhões de francos franceses que são equivalentes à importância citada se utilizada a taxa de conversão de US\$1 — FF\$ 4,29, válida para o ano da sua publicação.

4 — VILLEPELET, J. — 1975. *Méthodologie des Systèmes Missiles Sol-Air*. França (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées). Pg 1-17.

5 — BLANCHARD, B.S. e FABRYCKY, W. S. — 1981. *Systems Engineering and Analysis*, EUA (Prentice-Hall Inc.) — Pg 523.



1-3. Competência na Área de Pesquisa e Desenvolvimento e Capacitação Industrial

A competência na área de Pesquisa e Desenvolvimento — P&D — e a capacitação industrial são fundamentais no confronto do Poder Militar de dois países. O exemplo do recente conflito nas Malvinas vem corroborar o fato de que a vitória conseguida nos campos de batalha espelha a supremacia das pesquisas tecnológicas realizadas no ambiente seguro e criativo dos laboratórios.

Assim, para o desenvolvimento de um sistema de mísseis é necessário um nível de excelência na área de P&D do país.

Um dos principais aspectos para se atingir esse estágio é o dos recursos humanos. O sucesso das realizações no campo de sistemas de mísseis é garantido pela combinação hábil de numerosas especialidades técnicas. A engenharia na Idade dos Sistemas é um trabalho de equipe onde cada membro deve ser um especialista no seu campo de atividade, com conhecimentos das interfaces com as outras áreas envolvidas no desenvolvimento.

Assim, é necessário a formação de equipes competentes em diferentes áreas do conhecimento, dentre as quais podem ser citadas: Pesquisa Operacional, Engenharia de Sistemas, Aerodinâmica, Propulsão, Estrutura, Guiagem e Controle, Eletrônica, Ciência dos Materiais e Química.

Para a coordenação de trabalhos tão diversificados, é fundamental a participação do gerente de pro-

jeto, uma espécie de executivo do desenvolvimento. O Exército apresenta uma enorme lacuna no campo da gerência de projetos por não contar com cursos de formação nessa área. Os poucos gerentes existentes são profissionais de grande vivência e que aprenderam o ofício empiricamente.

Salienta-se a importância do analista de sistemas, que avalia, compara e seleciona as diversas estruturas capazes de satisfazer aos requisitos militares mediante uma análise lógica, sistemática e objetiva. Essa atividade é tão importante que os países mais desenvolvidos possuem órgãos de análise e avaliação de sistemas em cada Força Singular. A Marinha Brasileira, numa atitude de pioneira, já criou o CASNAV — Centro de Análise de Sistemas Navais. O Exército, entretanto, ainda não acordou para essa necessidade.

Outro aspecto de capital relevância para a P&D é o estabelecimento de estrutura adequada. A criação de estrutura com característica operativa deve focalizar, entre outros, os seguintes aspectos:

- Organograma flexível com funcionamento matricial;
- eficiente estrutura administrativa, possibilitando a agilização na compra de materiais e
- infra-estrutura diversificada de pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental, composta de laboratórios, usinas-piloto, sistemas de processamento de dados, etc.

Finalmente, a fabricação de um sistema de mísseis repousa sobre a capacidade tecnológica do par-

que industrial do país. Essa capacidade é função do grau de desenvolvimento industrial e é incrementada pelas atividades de fomento industrial, por encomendas feitas pelas Forças Armadas e pela ampliação das exportações de material bélico.

1-4. O Papel do Tático no Desenvolvimento

Ao contrário do que possa parecer ao leigo, um papel de destaque é reservado ao tático durante o desenvolvimento de um sistema de mísseis.

Assim, na fase de concepção, tanto o técnico quanto o tático desempenham um papel relevante, motivado pelo eterno conflito propulsor do progresso: o querer versus o poder. A necessidade de um armamento, cujo emprego implique numa vantagem substancial no campo de batalha e que seja identificável pelo tático, tem os contornos de exequibilidade definidos pelo avanço da ciência e da tecnologia, assuntos relacionados à área do conhecimento técnico.

É pois fundamental a interação desses dois personagens no desenvolvimento de um sistema de mísseis. Ambos devem concordar sobre a natureza e as características do sistema proposto. Desse diálogo resultam a concepção do emprego operacional, a concepção do apoio logístico e a identificação das características técnicas durante o levantamento das necessidades.

Na fase do desenvolvimento, os dois voltam a interagir na elabora-

ção de manuais técnicos, manuais de instrução, manuais logísticos (de manutenção e de suprimento), no estabelecimento de programas de treinamento de pessoal operacional e pessoal de apoio e na realização de ensaios de avaliação operacional e avaliação logística. O tático deve ainda realizar estudos de modificação ou de criação de novos Quadros de Organização de Pessoal e Material.

1-5. Estágio Atual do Exército Brasileiro

Uma das políticas do Exército é a busca do desenvolvimento autóctone de sistemas de mísseis. Como estratégia para o cumprimento dessa meta, utilizou a capacitação por saltos, que consiste em queimar etapas, buscando a máxima velocidade de assimilação pelos órgãos de P&D e de absorção pelo parque industrial.

O primeiro passo nesse sentido foi a nacionalização do Sistema de Mísseis Anti-Carro COBRA, hoje denominado Míssil SS X1 AC, que foi abraçado pelo Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento — IPD — e está em condições de ser fabricado pela Avibrás. Para primeiro contato com a tecnologia de sistemas de mísseis, foi uma excelente escolha, porque o Cobra é um dos mísseis de primeira geração mais simples.

O passo seguinte, bem mais difícil e ambicioso, é a nacionalização do Sistema de Mísseis Solo-Ar Roland, que consiste no projeto do Míssil SA X1 ora em desenvolvimento no IPD. Esse sis-

tema de mísseis é bem mais complexo e, se o Exército tiver êxito nesse empreendimento, os avanços tecnológicos que iremos experimentar serão decisivos para o domínio de novos sistemas de armas.

Os reflexos positivos de tais trabalhos se fazem sentir não somente na formação e aperfeiçoamento de recursos humanos, mas também na modernização e reestruturação dos órgãos de P&D. É de se salientar a determinação recente do Ministério do Exército¹ para a implantação do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Sistemas nas futuras instalações do IPD/CTEx em Guaratiba, RJ.

Por último, porém não menos importantes, estão os reflexos sobre o nosso parque industrial. A crescente capacitação tecnológica de nossa indústria vem possibilitando novas realizações e o aumento das exportações. Um exemplo típico é o desenvolvimento do Sistema de Foguetes Solo-Solo Astros pela Avibrás, o qual está sendo realizado com base na experiência adquirida com a fabricação dos foguetes X-20 e X-40 do Exército e SBAT-127 da Aeronáutica.

1-6. Necessidade de uma Metodologia de Desenvolvimento

O sistema de mísseis, extremamente caro, com uma duração operacional elevada e composto por uma extensa gama de equipa-

mentos, não deve e nem pode ser desenvolvido empiricamente. Daí a necessidade imperiosa de ser adotada uma metodologia, com bases científicas, para identificar, analisar, selecionar, pesquisar, desenvolver e industrializar sistemas em atendimento a necessidades operacionais. O estágio do desenvolvimento científico-tecnológico do País delineia a extensão das realizações que satisfazem essas necessidades militares.

O objetivo da utilização de uma metodologia para desenvolver, ou até mesmo adquirir, um sistema de armas é a minimização de custos na obtenção de um todo cujo desempenho seja adequado à missão a cumprir ou à seleção do melhor sistema para um determinado nível de esforço de desenvolvimento. Em outras palavras, o método visa à maximização da relação benefício/custo.

Nesta oportunidade, cabe a ressalva de que a metodologia proposta no próximo capítulo é fruto do estudo de literatura estrangeira, uma vez que o Exército não desenvolveu, até o presente, um sistema de mísseis baseado em concepção nacional. A experiência do autor, acumulada durante mais de dez anos de trabalho na área de P&D, e as regulamentações já implantadas no Exército possibilitaram a adequação da concepção estrangeira à realidade brasileira. Entretanto, somente o debate construtivo e a aplicação prática de tal metodologia podem fornecer os subsídios do seu ajuste às nossas possibilidades.

1 - Ministério do Exército-1983, Portaria Ministerial nº 0252. Delegação de Competência para Assinatura de Convênio. Brasília.



UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MÍSSEIS

A aptidão do sistema de mísseis para cumprir sua missão operacional depende essencialmente dos seguintes aspectos:

- qualidade de desempenho—alcançe, tempo de reação, velocidade de cruzeiro, probabilidade de destruição, etc. — sintetizada em medidas de eficácia e efetividade;
- característica de emprego — facilidade de operação, rapidez de entrada em posição, disponibilidade, manutenibilidade, confiabilidade, velocidade de deslocamento, etc.;
- do prazo necessário para o sistema se tornar operacional.

Evidentemente, o valor militar do sistema de armas é relativo, pois é função do desenvolvimento dos equipamentos que o provável inimigo possa contra-empregar durante a sua vida operacional.

Um outro aspecto que deve ser levado em consideração durante o processo de obtenção do sistema de mísseis é a sua adequação ao provável teatro de operações e ao nível intelectual de sua guarnição.

As Instruções Gerais para o Modelo Administrativo do Ciclo de Vida dos Materiais do Exército, as IG 10-36, preconizam as seguintes fases aplicáveis à obtenção, ao uso e a desativação de sistemas: Formulação Conceitual, Pesquisa e Desenvolvimento, Produção, Utilização e Alienação. Um Ciclo de

Vida de sistemas de mísseis, dentro desse molde, está apresentado na Figura 2-1.

Neste capítulo são analisadas cronologicamente as atividades das duas primeiras fases do Ciclo de Vida, uma vez que o processo de obtenção do sistema se concretiza ao final da Pesquisa e Desenvolvimento.

2-1. Formulação Conceitual

a. Levantamento das Necessidades

O planejamento do preparo e do emprego da Força Terrestre para atender às hipóteses de guerra, previstos no estudo estratégico militar, tem uma etapa de trabalho muito importante no Estado Maior do Exército, quando esse órgão procura definir as necessidades de materiais do Exército. No contexto dessas necessidades, assumem particular relevância os sistemas de mísseis.

O Levantamento das Necessidades consiste na formulação do emprego operacional do sistema, na identificação de algumas características técnicas e no estabelecimento da concepção do apoio logístico.

Inicialmente, é definida a concepção de emprego operacional com o estabelecimento de algumas características técnicas, devendo abordar os seguintes pontos:

- estabelecimento da missão;
- definição da ameaça;
- especificação da eficácia desejável;

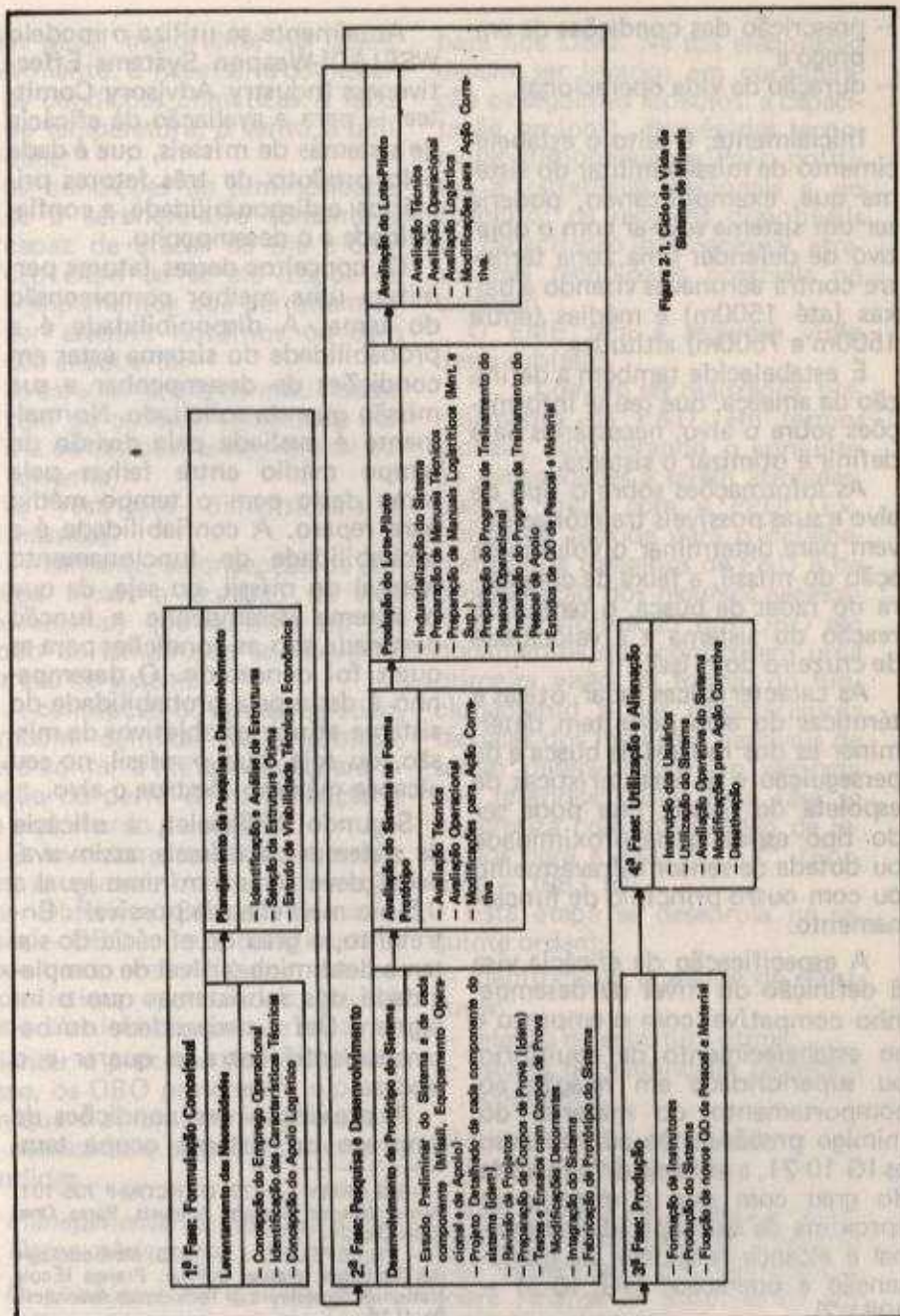


Figure 2.1. Ciclo de Vida do Sistema de Mísseis

- prescrição das condições de emprego e
- duração da vida operacional.

Inicialmente, é feito o estabelecimento da missão militar do sistema que, exemplificando, poderia ser um sistema solo-ar com o objetivo de defender uma zona terrestre contra aeronaves visando a baixas (até 1500m) e médias (entre 1500m e 7500m) altitudes.

É estabelecida também a definição da ameaça, que reúne informações sobre o alvo, necessárias para definir e otimizar o sistema.

As informações sobre o tipo de alvo e suas possíveis trajetórias servem para determinar o volume de ação do míssil, a faixa de cobertura do radar de busca, o tempo de reação do sistema e a velocidade de cruzeiro do míssil.

As características radar, óticas e térmicas do alvo permitem determinar as dos radares de busca e de perseguição e as características da espoleta do míssil, que pode ser do tipo espoleta de proximidade ou dotada de sensor infravermelho ou com outro princípio de funcionamento.

A especificação da eficácia visa à definição do nível de desempenho compatível com o emprego e ao estabelecimento de equilíbrio ou superioridade em relação ao comportamento do material do inimigo provável. De acordo com as IG 10-21, a eficácia é "a medida do grau com que o material se aproxima de sua capacidade nominal e alcança facilidade de manutenção e operação" (IG 10-21 - 1981,2).

Atualmente se utiliza o modelo WSEIAC¹-Weapon Systems Effectiveness Industry Advisory Committee - para a avaliação da eficácia de sistemas de mísseis, que é dada pelo produto de três fatores primários: a disponibilidade, a confiabilidade e o desempenho.

Os conceitos desses fatores permitem uma melhor compreensão do tema. A disponibilidade é a probabilidade do sistema estar em condições de desempenhar a sua missão quando solicitado. Normalmente é avaliada pela divisão do tempo médio entre falhas pela soma deste com o tempo médio para reparo. A confiabilidade é a probabilidade de funcionamento normal do míssil, ou seja, de que o sistema desempenhe a função destinada sob as condições para as quais foi concebido. O desempenho é dado pela probabilidade do sistema atingir os objetivos da missão, ou seja, que o míssil, no seu alcance máximo, destrua o alvo.

Segundo Villepelet, a eficácia de sistemas de mísseis, assim avaliada, deve ser no mínimo igual a 0,5 e a mais elevada possível². Entretanto, o grau de eficácia do sistema determina o nível de complexidade dos subsistemas que o integram. Daí a necessidade do balanceamento entre o querer e o poder.

A prescrição das condições de emprego do sistema ocupa tam-

¹ - US ARMY - 1977, DARCOMP 706-101. Army Weapon System Analysis. Parte One, EUA, Cap. 24.

² - VILLEPELET, J. - 1975, *Méthodologie des Systèmes Missiles Sol-Air*. França (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées). Pg. 11.16.

bém papel importante no desenvolvimento. É necessário conhecer:

- as condições climáticas: a faixa de temperatura, o vento, a umidade;
- as condições de luminosidade: se a aeronave-alvo somente é capaz de atacar de dia e com céu claro ou se ela dispõe de equipamentos que permitem fazer ataques noturnos ou com céu encoberto;
- as características de mobilidade: tipo de terreno, velocidade média de deslocamento, raio de autonomia;
- as restrições dimensionais e mássicas.

Finalmente, a concepção de emprego inclui a duração da vida operacional, que consiste no período de tempo que se espera fazer uso do sistema.

A concepção do apoio logístico, também definida nesta subfase, deve conter a linha-mestra para fixação do perfil de manutenção e de suprimento do sistema.

O levantamento das necessidades se encerra com a elaboração dos Objetivos Básicos Operacionais — OBO — que constituem o documento consolidador das características operacionais, logísticas e técnicas desejadas e capaz de orientar o processo de P&D. Além disso, os OBO prescrevem o prazo em que o sistema será efetivamente necessário e as quantidades pretendidas.

b. Planejamento da Pesquisa e do Desenvolvimento

O planejamento da pesquisa e do desenvolvimento é feito com

base nos OBO. Na sua elaboração devem ser levados em consideração os seguintes aspectos: a capacitação nacional, através das tecnologias disponíveis no País; políticas e estratégias nacionais e do Exército; os recursos disponíveis e a capacitação internacional, através das tecnologias possíveis no exterior.

O EME tem a seguinte visão desta subfase:

“(. . .) devem ser realizados: planejamento da P&D, em termos globais, considerando o conjunto de necessidades a serem atingidas, que se inicia com o PPDCTEx, ponto de partida para o detalhamento dos trabalhos de P&D e da programação dos recursos necessários; transformação dos OBO em documentos que configurem uma primeira visão da forma, do funcionamento e das características técnicas dos materiais passíveis de serem desenvolvidos em resposta aos referidos OBO. Esta fase se concretiza com a liberação de recursos para a P&D (. . .)”. (Fortuna — 1983,10)

Esta etapa se desenrola na seguinte ordem:

- identificação e análise de estruturas;
- seleção da estrutura ótima;
- estudo de viabilidade técnica e econômica.

1) Identificação e análise de estruturas adequadas

Um sistema de mísseis é extremamente complexo. O Exército Americano, em seu Manual sobre Análise de Sistemas de Armas, salienta que:

"(. . .) decisions to develop a weapon system tend to become irrevocable in the short run (three to five years) and the penalties for "choice error" become rather severe, e.g., unfavorable strategic balance in the long run (eight to ten years)". (US ARMY — 1977, 4-1)

[(. . .) decisões para desenvolver um sistema de armas tendem a se tornar irrevogáveis a curto prazo (três a cinco anos) e as penalidades por "erro de escolha" se tornam bastante severas, i.e., resultam num balanço estratégico desfavorável a longo termo (oito a dez anos)."]

Em conseqüência, a análise de sistemas não deve somente maximizar a efetividade dos recursos, materiais e humanos, a serem gastos, mas também minimizar o risco do erro de escolha na seleção do sistema de armas.

O processo de análise deve percorrer os passos seguintes:

- análise técnica da missão,
- identificação das estruturas possíveis,
- análise das estruturas adequadas.

Na análise técnica da missão, deve realizar-se a modelagem da ameaça, correspondente à missão principal do sistema, e das condições de emprego; deve proceder-se à definição do critério de eficácia; e deve efetuar-se a decomposição funcional do sistema. No caso de um sistema de mísseis Solo-Ar, essas funções podem ser: detecção, identificação, avaliação da ameaça, designação do objetivo, preparação do tiro, propulsão e pilotagem

do míssil, guiagem do míssil, destruição do alvo, coordenação com outros sistemas e manutenção do sistema.

É exatamente o conhecimento das funções a serem realizadas pelo sistema que possibilita a elaboração de estruturas — diagramas funcionais em blocos que possam atender à missão operacional. Nessa etapa, são identificadas estruturas com componentes que viabilizam o cumprimento de cada função do sistema. É feita uma pesquisa cuidadosa procurando, em publicações de fabricantes, os equipamentos disponíveis no mercado ou ao alcance da tecnologia nacional que possam, mesmo com adaptações, satisfazer as funções levantadas. Este esforço deve ser dirigido principalmente para o equipamento de solo- radares, computadores, veículos, etc. — e para componentes de cada conjunto do sistema.

Finalmente, procede-se à análise das estruturas adequadas. Esse trabalho, de fundamental relevância, consiste no estabelecimento de modelos matemáticos que permitam determinar, para cada estrutura, o valor do critério de eficácia adotado e permitir a otimização de seus parâmetros.

O Manual sobre Análise de Sistema de Armas¹ do Exército Americano faz um estudo minucioso sobre a modelagem matemática, com grande dose de estatística, dos mais variados fatores interve-

1 — US ARMY — 1977, DARCOM-P 706-101. Army Weapon Systems Analysis. Parts One and Two. EUA.

nientes na análise de sistemas de armas: o meio físico, a imposição de danos ao alvo, a seleção de alvo, a dispersão, a probabilidade de acerto, a vulnerabilidade e a letalidade, a cadência de tiro, o tempo de reação, a espoleta, a confiabilidade, a disponibilidade, o aprestamento, a manutenibilidade, a modalidade, a manobrabilidade, a agilidade, a efetividade, a detecção e a estratégia de busca, a interferência do fator humano no funcionamento do sistema, e o custo.

Em seguida, é necessário avaliar, para cada estrutura, o custo global do programa, envolvendo o desenvolvimento, a produção, a utilização operacional e o apoio logístico.

2) Seleção da Estrutura Ótima

A possibilidade de nacionalização total ou parcial do sistema interfere diretamente na sua efetividade. De acordo com Fortuna, a efetividade é "a medida mais geral de desempenho, expressa o grau de atendimento a objetivos políticos, econômicos, sociais e de segurança nacional, no seu sentido mais amplo". (Fortuna — 1983, 6)

Esse critério de desempenho pode ser decisivo na escolha do sistema de armas.

Assim, com as avaliações de eficácia, da efetividade e dos custos, pode selecionar-se a solução mais adequada para o sistema de mísseis. Entretanto, existem outros aspectos que também devem ser levados em consideração na seleção final: a facilidade de adaptação do combatente ao sistema, a

padronização dos componentes, a versatilidade do sistema e sua durabilidade.

3) Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica — EVTE

O EVTE tem o caráter de formulação de um anteprojeto e desenrola-se na seguinte ordem:

- subdivisão do sistema dos mísseis,
- estudo do sistema,
- estabelecimento das especificações de desempenho,
- articulação do custo do programa,
- consolidação do planejamento de P&D.

a) Subdivisão do Sistema de Míssil

O anteprojeto se inicia com a realização de um estudo definindo a apropriada divisão — baseada nas funções que cada um deve realizar — do sistema em subsistemas — e as especificações principais objetivadas para os diferentes subsistemas. Ele deve ser efetuado por uma equipe de análise de sistemas e visa à utilização de especialistas nas etapas subseqüentes.

b) Estudo do Sistema

Nesta etapa os especialistas têm uma importância capital. É formulado o anteprojeto do míssil visando a estabelecer suas características propulsivas, aerodinâmicas e estruturais. São realizados estudos iniciais sobre a pilotagem do míssil e sobre a capacidade de desenvolvimento dos componentes do

míssil. Simultaneamente, a guiação do míssil é analisada e, com base nos parâmetros de pilotagem, aerodinâmicos, propulsivos e estruturais, elabora-se o modelo de simulação para otimizá-la.

O estudo das outras funções do sistema permite a elaboração de anteprojetos dos materiais e equipamentos de solo. É fundamental que se verifique a possibilidade de utilizar equipamentos de prateleira, principalmente no caso de radares e computadores.

Paralelamente, é feito o estudo para atingir pouco a pouco, a organização do sistema, o papel dos operadores, a estrutura dos diferentes subsistemas e a natureza das ligações entre eles.

c) Estabelecimento das especificações de desempenho

Os resultados dos estudos acima podem ser sintetizados no estabelecimento das especificações de desempenho dos diversos componentes do sistema.

d) Articulação e custos do programa

Procede-se a seguir à elaboração da articulação e à avaliação do custo do programa. Para tal, devem ser articulados os desenvolvimentos — estudos, obtenção e ensaios — dos diferentes componentes com previsão de prazos; prescritos os ensaios de integração do sistema; avaliados os custos do desenvolvimento; levantada a articulação do programa total com prazos e avaliados os custos totais.

O estabelecimento dessa articulação e o prazo de cada atividade resultam do diálogo entre a equipe responsável pelo desenvolvimento do sistema e os diversos especialistas que colaboraram no seu estudo.

e) Consolidação do Planejamento de P&D

Os estudos preliminares são consolidados sob a forma de um anteprojetado, que deve conter²:

- o desempenho mínimo exigido para cada componente;
- a especificação das condições de emprego do sistema;
- a decomposição do sistema em subconjuntos;
- a especificação de cada subconjunto;
- a especificação dos ensaios de recebimento;
- o diagrama PERT da fase de desenvolvimento;
- o escalonamento financeiro.

2-2. Pesquisa e Desenvolvimento

Passa-se do planejamento para a execução. Esta é a fase mais crítica de todo o programa. Para a sua realização é fundamental o caldeamento da competência, da criatividade e da motivação dos participantes; da capacitação técnica, estrutural e administrativa da instituição de pesquisa e desenvolvimento e da capacidade tecnológica do parque industrial.

2 — VILLEPELET, J. — 1975. *Méthodologie des Systèmes Missiles Sol-Air*, França (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées). Pg 1.9.

Ao longo de todo o processo de desenvolvimento, o relacionamento constante entre o órgão pesquisador e as indústrias deve garantir o êxito da atividade de fomento industrial, que caracteriza a interface entre as duas instituições. Muitos programas que apresentaram um sucesso enganador na fase de P&D naufragaram pela impossibilidade técnica ou financeira de sua industrialização.

Ocasionalmente, as necessidades de desempenho exigem o emprego de materiais ou componentes que ainda não são do domínio industrial, ou mesmo do setor de desenvolvimento. Para resolver um problema dessa natureza, é aconselhável ativar a área de pesquisa aplicada. Um exemplo atual desse importante aspecto é a pesquisa sobre Propelentes de Alto Teor Energético — PATE — realizado pelo Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento — IPD — como apoio industrial da Fábrica Presidente Vargas (IMBEL), que, entre outros objetivos, procura desenvolver o propelente adequado para o motor da aceleração do Míssil SAX1, ora em desenvolvimento pelo Centro Tecnológico do Exército — CTE_x.

Assim, o processo de desenvolvimento deve obedecer uma metodologia que percorre os seguintes passos:

- realização de estudos preliminares mediante pesquisas, estudos de laboratório, projetos, preparação de metodologia teórica, simulação, etc.;
- preparação de corpos de prova;

- fabricação de protótipos;
- industrialização do sistema com a produção de um lote-piloto.

Um aspecto que não pode deixar de ser ressaltado é a imperiosidade dos estudos de integração dos diversos componentes do sistema de mísseis.

Na análise dessa fase é abordado o desenvolvimento do míssil, o desenvolvimento do equipamento operacional e de apoio, a integração do sistema, os ensaios de avaliação e a adoção do sistema.

a. Míssil

Os trabalhos de desenvolvimento do míssil têm o objetivo de obter um vetor com as características de projeto e com a probabilidade de bom funcionamento a mais elevada possível.

Inicialmente, são levados a efeito estudos preliminares com os quais se pretende chegar à primeira definição do míssil. Esta é a etapa em que participa um grande número de especialistas de elevado nível.

Assim, problemas associados à Aerodinâmica, à Propulsão, à Estrutura, à Pilotagem, à Guiagem, à Dinâmica de Voo, à Detônica são extensivamente estudados através de projetos, simulação computacional, ensaios de corpos de prova em túneis de vento, experiências em laboratórios e testes com motores em ponto fixo. Esses estudos preliminares resultam na preparação de corpos de prova, que são utilizados inicialmente ensaios estáticos e posteriormente nos pri-

meiros vôos. Os objetivos são a ajustagem do sistema propulsivo, da pilotagem, dos diversos sensores de míssil (espoleta de proximidade, dispositivos de guiagem inercial e outros), a aquisição definitiva dos parâmetros aerodinâmicos e a constatação das condições de vôo quanto à vibração, à temperatura e ao ambiente.

Com base nos resultados obtidos com os corpos de prova de vôo é construído o primeiro protótipo, que visa à definição e à ajustagem final do míssil nos diversos aspectos de propulsão, aerodinâmica, estrutura, carga-útil, pilotagem e guiagem. Normalmente, esse protótipo experimenta evoluções, até ser atingido um estado aceitável de funcionamento e estar de acordo com as características técnicas prefixadas.

Esta fase também visa à obtenção de um míssil confiável que suporte difíceis condições de emprego. Assim, como o tempo de vôo é relativamente curto, ele deve funcionar bem e, ao contrário de outras máquinas, não pode sofrer ajustagens durante sua operação. Além do mais, o ambiente de vôo é hostil e o míssil experimenta vibrações de elevada frequência, acelerações importantes, etc. O míssil deve ser desenvolvido para funcionar normalmente após longo período de armazenamento, em ambientes gélidos ou tórridos, e após serem transportados por viaturas transitando em qualquer terreno.

Normalmente essa confiabilidade é testada através de:

- ensaios ambientais (vibração, temperatura e umidade);
- ensaios de envelhecimento;
- ensaios de funcionamento de motores com simulação de manobra.

A análise de defeitos constatados durante ou após os ensaios possibilita a melhoria do material em desenvolvimento.

Finalmente, é fabricado o protótipo definitivo que deve ser submetido a provas de avaliação, de caráter técnico e operacional, realizadas num Campo de Provas.

b. Equipamento Operacional

Os trabalhos com o equipamento operacional seguem a mesma sistemática de desenvolvimento do míssil:

- são realizados estudos preliminares;
- são estudados e realizados um certo número de:
 - corpos de prova experimentais, envolvendo sempre que possível partes disponíveis no mercado (radar, computador e componentes diversos) reunindo as principais funções necessárias à ajustagem da guiagem do míssil (rampa de lançamento, meios de telecommando, sistema de processamento da informação e radar de trajetografia) e os aparelhos de registro necessário (telemídida e impressoras);
 - corpos de prova de subsistemas críticos, cuja ajustagem pode ser feita independente

- de ensaios de voo, como por exemplo o radar de busca;
- são produzidos um ou mais protótipos na busca de atendimento operacional do sistema às especificações militares. Simultaneamente, estuda-se a confiabilidade e a manutenibilidade.
- finalmente é fabricado o protótipo definitivo para ser submetido às provas de avaliação.

c. Equipamento de Apoio

O equipamento de apoio compreende meios de instrução e meios de manutenção.

Simultaneamente ao desenvolvimento do míssil e do equipamento operacional, são realizados estudos visando ao desenvolvimento de simuladores de treinamento e ao estabelecimento de testes, aparelhagem e ações de manutenção a serem efetuados no sistema durante o período de armazenagem e antes do tiro.

d. Integração do Sistema

Inicialmente, com base nas especificações do sistema, nos estudos preliminares do míssil, do equipamento operacional e do equipamento de apoio, é feito o estudo global do sistema, visando ao estabelecimento de um modelo do míssil guiado. Nesse instante, é realçada a importância da integração de todos os subsistemas para o funcionamento harmonioso e eficaz do míssil.

A cada etapa do desenvolvimento das partes (corpos de prova e

protótipo) devem ser utilizados, sobre o conjunto, testes, provas de voo e interpretação de resultados, que possibilitem a evolução do sistema no sentido de atender às necessidades operacionais e logísticas.

Finalmente, quando o sistema estiver atendendo às especificações técnicas e operacionais, comprovadas na avaliação do sistema na forma protótipo, é feita a expedição do Ato Declaratório, que consigna o material como de interesse e suscetível de adoção pelo Exército e determina a passagem à fase de industrialização com a produção do lote-piloto.

e. Industrialização do Sistema de Mísseis

A industrialização, última etapa da fase de P&D, corresponde à interface entre o laboratório e a fábrica. O material que foi desenvolvido deve ser passível de fabricação econômica, confiável e repetitiva. Ele possui um triplo objetivo:

- a introdução de modificações para industrialização;
- a definição do plano de fabricação e
- a complementação dos ensaios de manutenção.

A passagem da fase de desenvolvimento para a fase de produção é progressiva. Algumas vezes a viabilização da industrialização de um componente impõe a execução de um mínimo de modificações no projeto de desenvolvimento.

Em seguida, é necessário um extenso trabalho de definição e preparação de desenhos, dos planos, das máquinas, das ferramentas de fabricação e dos meios de ensaio requeridos pela produção.

Finalmente, durante a industrialização, são efetuados estudos e são realizados equipamentos complementares de manutenção e são definidas as peças de reposição.

Nesta etapa, o sistema, já desenvolvido, é produzido sob a forma de lote-piloto e são preparados os manuais técnicos, os manuais de suprimento, os manuais de manutenção, os programas de treinamento de pessoal operacional e de apoio. Por fim, são realizados estudos de modificação ou de implantação de novos Quadros de Organização de Pessoal e Material que se coadunem com a incorporação do sistema de mísseis à tropa.

Ao final do desenvolvimento, o lote-piloto é submetido a ensaios de avaliação, com o objetivo de confirmar se as características técnicas e operacionais obtidas e aprovadas na forma protótipo estão presentes também no produto industrializado. Nessa ocasião, é recomendável a avaliação logística do sistema.

A fase de P&D termina com a expedição do Ato de Adoção, que declara o material adotado pelo Exército.

CONCLUSÃO

O sistema de mísseis pode ser entendido como um conjunto

complexo de mísseis, equipamentos operacionais, equipamentos de apoio e homens, organizado de modo a formar um todo coerente, destinado a realizar uma missão militar.

A possibilidade de obtenção desse armamento demanda competência na área de P&D e capacidade industrial. A excelência no campo de pesquisa e desenvolvimento é obtida através de formação adequada de recursos humanos, de estruturação operativa e administrativa eficiente e de infraestrutura diversificada de laboratórios, de usinas-piloto e de sistemas de processamento de dados. A capacidade tecnológica do parque industrial é incrementada pelas atividades de fomento industrial, por encomendas feitas pelas Forças Armadas e pela ampliação das exportações de material bélico.

O Exército tem trabalhado intensamente para criar uma capacitação técnica, estrutural e administrativa de P&D voltada para sistemas. Para caracterizar esse esforço, está em fase de implantação nas novas instalações do CTE_x em Guaratiba, o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Sistemas do IPD.

A área técnica do Exército, entretanto, apresenta uma sensível lacuna no campo de gerência de projetos, por não contar com cursos de formação nessa especialidade nem fomentar a preparação de gerentes em outras instituições. Essa atividade é imprescindível para a coordenação do programa

de desenvolvimento de sistemas de armas.

Durante esse desenvolvimento, é reservado um papel de relevo ao tático. Ele atua interagindo com o técnico durante todo o ciclo de obtenção do sistema, com especial ênfase entretanto no início e no fim dos trabalhos. É importante assinalar que o sistema de mísseis resulta do balanço entre o querer tático e o poder tecnológico.

A capacitação por saltos, estratégica da Força Terrestre na busca do desenvolvimento autóctone de sistemas de mísseis é sábia e deverá apresentar resultados compensadores tanto na área da pesquisa quanto na área industrial.

O sistema de mísseis, extremamente caro, com uma duração operacional elevada e composto por uma extensa gama de equipamentos, requer uma metodologia de desenvolvimento para maximizar a relação benefício/custo.

A metodologia proposta nesta monografia se enquadra no Ciclo de Vida preconizado pelas IG 10-36; entretanto carece de comprovação experimental. Em consequência, é necessário o debate da comunidade militar e a aplicação prática para o seu aprimoramento.

Obviamente, o método de obtenção explora apenas as duas primeiras fases do Ciclo de Vida: a Formulação Conceitual e a Pesquisa e Desenvolvimento.

O Levantamento das Necessidades, primeira atividade da Formulação Conceitual, engloba a formu-

lação do emprego operacional do sistema, a identificação de algumas características técnicas relevantes e o estabelecimento da concepção do apoio logístico. A concepção do emprego operacional e as características técnicas básicas de um sistema devem abordar os seguintes pontos: estabelecimento da missão, definição de ameaça, especificação da eficácia desejável, prescrição das condições de emprego e duração da vida operacional.

No planejamento da P&D, segunda atividade da Formulação Conceitual, devem ser levados em consideração a capacitação nacional através de tecnologias disponíveis no País, políticas e estratégias nacionais e da Força Singular, os recursos disponíveis e, se tecnicamente impositivo, a capacitação internacional através de tecnologias possíveis no exterior. Nesse planejamento são realizados a identificação e análise de estruturas, a seleção da estrutura ótima e o estudo da viabilidade técnica e econômica.

As etapas de análise e de seleção de estruturas são de capital importância, porque uma decisão sem fundamento técnico no estágio de definição do sistema terá consequências irremediáveis tanto no campo operacional quanto no campo financeiro. Em consequência, é recomendável a criação, no âmbito do CTE_x, de um grupo embrionário para efetuar a análise e a avaliação de sistemas de armas. Esse grupo deve estabelecer uma base forte em Pesquisa Operacio-

nal e deve contar com a assessoria de especialistas das diversas áreas que interferem no desenvolvimento de sistemas de armas.

Atualmente é utilizado o modelo WSEIAC para avaliar a eficácia de sistemas de armas. Além de eficácia, a efetividade e os custos são os principais parâmetros de seleção de estruturas. Outros aspectos de menor importância são: a facilidade de adaptação do combatente ao sistema, a padronização dos componentes, a versatilidade do sistema e sua durabilidade.

A fase de Pesquisa e Desenvolvimento deve percorrer os seguintes passos: realização de estudos preliminares, preparação de corpos de prova, fabricação de protótipos e industrialização do sistema. Um aspecto que não pode deixar de ser ressaltado é a imperiosidade dos estudos de integração dos diversos componentes do sistema de mísseis.

O míssil é uma máquina que deve possuir elevado grau de confiabilidade, pois durante o seu curto tempo de operação não pode sofrer ajustagens de funcionamento.

Os equipamentos de apoio, compreendendo meios de instrução e de manutenção, devem ser desenvolvidos simultaneamente com o restante do sistema de mísseis.

A atividade de fomento industrial é imprescindível para o êxito do desenvolvimento. Ela estabelece a interface entre os órgãos pesquisadores e as indústrias, e possibilita a industrialização do sistema.

Ao final da industrialização, é recomendável que seja realizada no lote-piloto do sistema a avaliação logística, além das avaliações técnica e operacional já regulamentadas.

Finalmente, a nossa expectativa é que este trabalho venha a contribuir positivamente para a conscientização da importância do assunto, para o debate da comunidade militar e para a escolha de caminhos que nos levem, no mais curto prazo, ao desenvolvimento de um sistema de mísseis genuinamente nacional.

BIBLIOGRAFIA

1. AMARANTE, José Carlos Albano do — 1980. Foguetes e Mísseis. Conferência na II. Reunião Anual de ADIME. Rio de Janeiro.
2. BLANCHARD, Benjamim S. e FABRYCKY, Wolter J. — 1981. Systems Engineering and Analysis. EUA (Prentice-Hall Inc.).
3. BRAGA, R. — 1983. Introdução de Novos Sistemas de Armas na MB. Rio de Janeiro (CASNAV).
4. DPET — 1977. Plano de Pesquisa Tecnológica. Rio de Janeiro.
5. EME — 1981. IG 10-21. Instruções gerais para as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento no Exército. Brasília.
6. EME — 1981. IG 10-36. Instruções Gerais para o Modelo Administrativo do Ciclo de Vida dos Materiais do Exército. Brasília.
7. FORTUNA, Victor José Schlobach — 1983. Sistemas de Armas no Exército Brasileiro. Palestra na ECEME. Rio de Janeiro.
8. Ministério do Exército — 1982. Portaria Ministerial nº 0252. Delegação de Com-

petência para Assinatura de Convênio.
Brasília.

Palestra na ECEME. Rio de Janeiro.

9. SCHENDEL, Antonio Jorge da Cruz — 1983. Considerações Gerais sobre os Modernos Sistemas de Armas. Palestra no IME. Rio de Janeiro.
10. SCHENDEL, A.J.C. e AMARANTE, J.C. A. — 1982. Evolução do Material Bélico.
11. US ARMY — 1977. DARCOM-P 706-101. Army Weapon Systems Analysis. Parts One and Two. EUA.
12. VILLEPELET, J. — 1975. Methodologie des Systèmes Missiles Sol-Air. França (Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées).



O Ten Cel QEMA José Carlos Albano do Amarante foi declarado Aspirante e Oficial do Quadro de Material Bélico em 1963. Em 1972 formou-se Engenheiro Químico no Instituto Militar de Engenharia. Possui o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). É Mestre em Ciências em Engenharia Química pela COPPE-UFRJ, M. Sc em Engenharia Mecânica e Ph. D. em Aeronáutica e Astronáutica pela Universidade de Stanford, EUA. É diplomado pelo Curso de Direção para Engenheiros Militares da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (ECEME). É Professor Titular do IME e participou em inúmeros projetos no campo de foguetes e mísseis. Atualmente, participa em atividade de Fomento Industrial, junto à AVIBRAS Indústria Aeroespacial S.A., no desenvolvimento do Sistema de Foguetes ASTROS.