



CC (EN) Ali Kamel Issmael Junior
ali.kamel@dgmm.mar.mil.br

A evolução das tecnologias em sensores para uso em defesa: status e reflexão



O CC (EN) Ali Kamel Issmael Junior serve atualmente na Coordenadoria-Geral do Programa de Desenvolvimento de Submarino com Propulsão Nuclear (COGESN), como Ajudante da Gerência de Desenvolvimento do Sistema de Combate dos Submarinos S-BR. Oriundo do Centro de Instrução Almirante Wandenkolk (CIAW), formou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Eletrônicos, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Pós-graduado como Especialista em Análise do Ambiente Eletromagnético pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, também realizou o curso Combat Management System (CMS) Deputy Technical Manager, na empresa DCNS, em Toulon – França, e o Curso Superior (C-SUP), na Escola de Guerra Naval. Serviu, ainda, na Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha (DSAM), como Encarregado da Seção de Óptica e Electroóptica e Ajudante da Seção de Radar; no Centro de Mísseis e Armas Submarinas da Marinha (CMASM), como Encarregado da Oficina de Eletrônica, Encarregado da Oficina de Minas, Bombas e Foguetes e Ajudante da Oficina de Torpedos Leves; e na Corveta Inhaúma, como Ajudante da Seção 02 do Departamento de Operações.

Introdução

A Marinha dos Estados Unidos da América (*US Navy*), a partir de sua tradicional visão prospectiva em relação ao futuro, lançou na internet¹ a publicação *Technology for the United States Navy and Marine Corps, 2000-2035 Becoming a 21st Century Force*. A publicação traz em seu escopo uma série de volumes em que são abordadas diferentes áreas de atuação da Força Naval Americana e as tendências de evolução das tecnologias de Defesa para a obtenção de assimetria positiva. Especificamente em seu volume 2, capítulo 4, intitulado *Tecnologias*, são apresentadas as diversas evoluções que já se encontram em operação, como também em desenvolvimento, para novos equipamentos e sensores para uso do Poder Naval daquele país.

Embora não se deva esquecer que a publicação, por ser ostensiva, pode não apresentar toda a realidade nas informações descritas, ela nos motiva a refletir sobre até que ponto nossas Forças são dependentes das concepções de tecnologia que os outros países nos oferecem. A partir desta premissa, o objetivo deste artigo é motivar os leitores a refletirem sobre a necessidade das Forças Armadas brasileiras acompanharem este desenvolvimento e criarem soluções autóctones.

Sensores, uma breve revisão

Em linhas gerais, sempre que se pensa em um novo equipamento aplicado à defesa, o fator primordial é a sua capacidade de dissuasão do inimigo. Isso pode estar representado, por exemplo, pelo

poder de destruição de um armamento ou a velocidade de resposta na sua operação. Atualmente, porém, outro fator vem se mostrando mais preponderante: a capacidade de detectar o inimigo com a devida antecedência. Para isso entra em cena a tecnologia de sensores. Eles podem efetivamente não somente detectar o inimigo e oferecer uma referência para o guiamento de um míssil ou posicionamento de um canhão, mas também atuarem ativamente na sua destruição, como no caso de armas direcionais eletromagnéticas (*laser* de alta potência) ou acústicas (canhões acústicos LRAD).

Sendo assim, os sensores normalmente se dividem em dois principais tipos: os sensores passivos, que medem e reportam as informações através de seus sinais de resposta, não influenciando o ambiente, como, por exemplo, uma câmera ou um sonar passivo; e os ativos, que estimulam o ambiente onde se deseja extrair a informação, através da geração e emissão de sinais conhecidos, os quais se propagam até os objetos ou alvos de interesse e, após a interação com estes, retornam ao sensor, por meio de energia de reflexão e espalhamento, que os capta de forma passiva, como um sonar ativo, radar ou um telêmetro LASER.

Nesse contexto, os principais fenômenos físicos que estão associados aos sensores de interesse militar são:

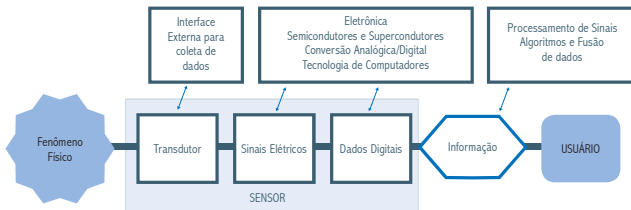
- Campos Elétricos, Campos Magnéticos e Campos Eletromagnéticos;
- Micro-ondas, Ondas Milimétricas, Ondas Ópticas, Raio-X, Raios Gama, Radiação Infravermelha;
- Ondas Acústicas propagadas no ar e na água;
- Aceleração Inercial, Linear e Rotacional;

¹No sítio https://www.nap.edu/catalog.php?record_id=5863.

- Direção e Peso Gravitacional;
- Fluxo de Flúídos;
- Posição e Tempo;
- Tensão e Compressão;
- Química, Biologia, Física Nuclear; e
- Parâmetros Atmosféricos e Oceânicos: temperatura, vento, visibilidade, correntes, salinidade.

Pode-se observar na Figura 1, a seguir, um modelo genérico para um sensor.

Figura 1: Modelo genérico para um sensor



Fonte: National Research Council (1997)

Em relação aos fenômenos associados aos sensores, as principais classes em uso são:

- Sensores Eletromagnéticos, Radar, RF Passivo;
- Sensores Eletroópticos, Sensores Fotônicos, Laser;
- Infravermelho;
- Sensores Acústicos, Sonares;
- Sensores Sísmicos e de Vibração; e
- Fibra-óptica.

A relevância do que os sensores podem fazer pelas Forças Armadas se expressam, por exemplo, na obtenção do exame de situação, na obtenção de informação genérica de Amigo/Inimigo (Friend/Foe), na vigilância, na detecção, no reconhecimento e localização de ameaças específicas, no guiamento ofensivo e defensivo de armamentos e na logística e manutenção dos meios.

Status Tecnológico e Tendências (exemplos da evolução)

As tendências tecnológicas que mais se destacam nas diversas classes de sensores são:

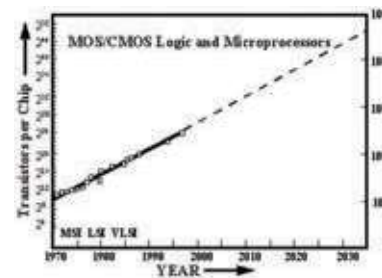
- Tecnologias de Estado Sólido;
- Nanotecnologia e manipulação no nível atômico, miniaturização e produção de Circuitos Integrados;
- Baixa Potência;
- Sistemas Microeletromecânicos;
- Integração de Sistemas;
- Fios e Nós Quânticos (circuitos);
- Conversão Analógico-Digital e Digital-Analógico;
- Síntese Digital Direta;

- Computadores e Processamento de Sinais associados a sensores e micros sensores;
- Sistemas distribuídos para permitir uma melhor tolerância a falhas;
- Redes e Interfaceamento;
- Fusão e Compressão de dados;
- Assinaturas Multidimensionais (infravermelha, acústica, eletromagnética, etc.)
- Engenharia de Materiais (rejeição de clutter, detecção e reconhecimento de alvos);
- Comunicações; e
- Equipamento com aplicações simultâneas em faixas largas do espectro eletromagnético.

Alguns exemplos que se destacam na evolução destas tendências são:

- Integração de Circuitos: o gráfico da Figura 2 mostra como a quantidade de transistor por circuito integrado vem apresentando um crescimento linear com o decorrer tempo e, ainda, a tendência é de que em 2030 o grau de miniaturização consiga atingir a impressionante quantidade de 10^{14} transistores por chip.

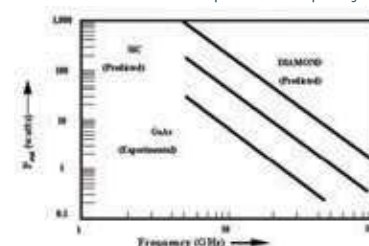
Figura 2: Evolução na Integração de Circuitos



Fonte: National Research Council (1997)
<https://www.akij.com.br/single-post/2016/08/26/%E2%80%9CA-Evolu%C3%A7%C3%A3o-das-Tecnologias-em-Sensores-para-uso-em-Defesa-status-e-reflex%C3%A3o%E2%80%9D>

- Menor potência de trabalho x aumento da faixa de trabalho em frequência (espectro): o gráfico da Figura 3 mostra como o desenvolvimento e aplicação de materiais estão conseguindo diminuir a potência necessária para alimentar os dispositivos, bem como estão aumentando a sua frequência de trabalho para valores próximos a faixa dos 10^{12} Hz (terahertz (THz) - espectro óptico e milimétrico).

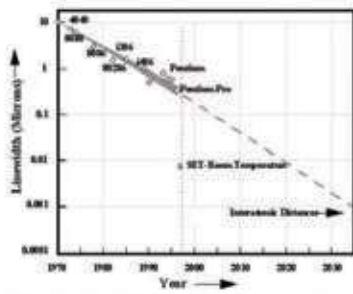
Figura 3: Evolução na diminuição da potência de trabalho e no aumento da frequência de operação



Fonte: National Research Council (1997)

- c) Miniaturização de processadores: o gráfico da Figura 4 mostra como cada vez mais os processadores ocupam um espaço menor, podendo chegar ao nível interatômico em 2030 (computadores quânticos).

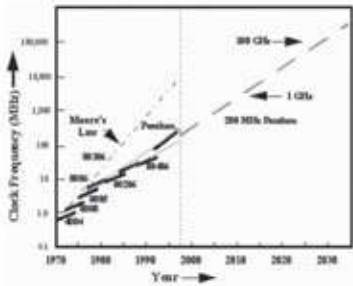
Figura 4: Evolução na miniaturização de processadores



Fonte: National Research Council (1997)

- d) Velocidade de Processamento: o gráfico da Figura 5 mostra como a velocidade de processamento dos processadores está aumentando linearmente, podendo alcançar níveis de 100 GHz em 2030.

Figura 5: Evolução na velocidade de processamento



Fonte: National Research Council (1997)

- e) Tecnologia *Phased Array*: a utilização do princípio de interferência de ondas para a criação de feixes diretivos nos radares tipo *phased-array*, diminui a complexidade mecânica nos projetos de radares, os quais já vem sendo amplamente utilizados em Forças Navais Aéreas e Terrestres, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Tecnologia *Phased Array*

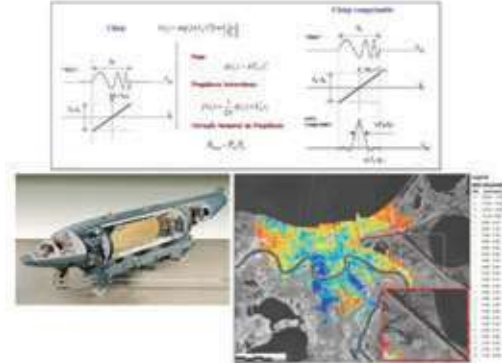


Fonte: Sítios Wikipedia; RF Café; The National Academies Press

- f) Radar SAR: O Radar de Abertura Sintética (*Synthetic Aperture Radar*), ou SAR, usa a técnica de processamen-

to de sinal de compressão de pulsos para o aumento da resolução em azimute e em distância. É muito utilizado em sistemas imageadores em plataforma aerotransportadas, que geram imagens mesmo em más condições de tempo, como pode ser visto na Figura 7.

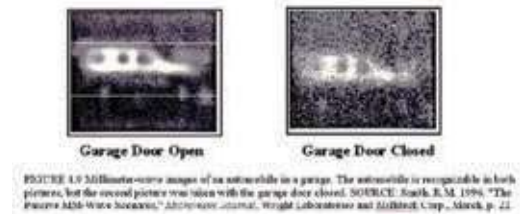
Figura 7: Radar de Abertura Sintética (*Synthetic Aperture Radar*)



Fonte: Sítio *Spy Flight* (<https://www.spyflight.co.uk/iaipod.htm>)

- g) Radar de Ondas Milimétricas: radar na faixa de 10^{11} a 10^{12} Hz (ondas milimétricas) que possuem a capacidade de penetração suficiente para gerar imagens de cenas por trás de paredes espessas e obstáculos como copas de árvores e portas de garagem, como pode ser visto na Figura 8.

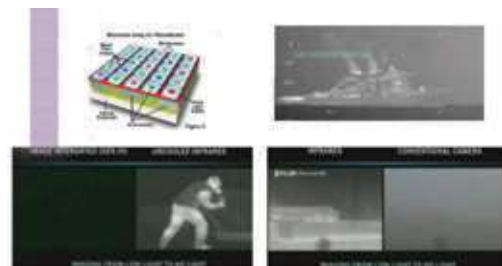
Figura 8: Radar de Ondas Milimétricas



Fonte: National Research Council (1997)

- h) Câmeras Infravermelhas: a partir do desenvolvimento da microeletrônica e de novos materiais associados, sensores infravermelhos para mísseis e novas câmeras infravermelhas vêm sendo produzidos para operar na faixa de 3 a 5 μ m, mais propícia para áreas úmidas como o litoral brasileiro, e sem a necessidade de refrigeração externa, como os modelos mais antigos, como pode ser visto na Figura 9.

Figura 9: Câmeras Infravermelhas da FLIR Systems em comparação com imagens geradas por intensificadores de imagem NVG e câmeras na faixa do visível



Fonte: FLIR Systems

- i) **Armas Acústicas Direcionais:** a partir do desenvolvimento de transdutores acústicos de matérias especiais, estão sendo criadas armas acústicas de feixes diretivos para Defesa. Com seu feixe acústico de alta intensidade e com alta diretividade, o equipamento pode ser utilizado para controle de motins, uso no mar em navios-patrolha contra pirataria e até para promover danos a alvos, conforme pode se ver na Figura 10.

Figura 10: LRAD (*Long Range Acoustic Device*) para uso em terra ou no mar, de fabricação da *American Technology Corporation*



Fonte: Sítios Wikipedia; LRAD Corporation

Tecnologias Críticas e Vulnerabilidades

As principais tecnologias críticas para o desenvolvimento dos equipamentos e sensores apresentados anteriormente são a de semicondutores, supercondutores, computação digital e algoritmos para processamento de sinais. As principais vulnerabilidades que devem ser suplantadas para que se aumente a confiabilidade dessas tecnologias, são apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 1: Vulnerabilidades

Tecnologia	Vulnerabilidades
Dispositivos de Baixa Tensão	Susceptibilidade à interferência eletromagnética (EMI)
Supercondutores	Dependência de baixíssimas temperaturas Circuitos de baixíssimo nível de tensão (EMI)
Computadores	Confiabilidade Intrínseca, Tolerância a falhas
Software	Confiabilidade Intrínseca; Falhas latentes e exatidão; Imunidade a vírus e programas maléficos
Nanotecnologia	Sobrecarga de tarefas, redes de comunicação, operação segura contra falhas

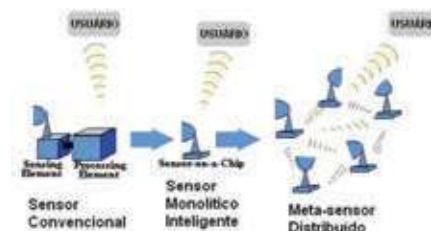
Fonte: *National Research Council* (1997)

Impacto no Futuro

Observando como a evolução das tecnologias vem se apresentando, destacam-se como possíveis impactos no futuro:

- a) Redução do tamanho e do custo de componentes e sistemas;
- b) Conversão Analógica-Digital realizada pelo próprio sensor, permanecendo apenas componentes analógicos imprescindíveis para a medição do fenômeno. Velocidade de processamento dos atuais gigaflops (10^9) para teraflops (10^{12}) e petaflops (10^{15}), em que 1 Gigaflop (*Floating Point Operations per Second*) significa 1 bilhão de operações em ponto flutuante por segundo; e
- c) Desenvolvimento de sensores inteligentes e monolíticos, através da combinação em UM ÚNICO CHIP de transdutores sensíveis, conversão analógico-digital, processamento de sinais, entrada e saída de comunicação e, talvez, até a alimentação, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11: Comparação entre os sensores convencionais e os dois modelos que estão sendo desenvolvidos para o futuro



Fonte: *National Research Council* (1997)

Conclusão

Uma reflexão: as chaves para o sucesso

Em função da importância das tecnologias e sensores aqui descritos, as chaves para que as Forças Armadas do Brasil possam se tornar menos vulneráveis aos fornecedores externos é o investimento do Governo e da Iniciativa Privada em Pesquisa Tecnológica aplicada a Programas de Defesa específicos.

A partir de programas tecnológicos conduzidos pelas Forças Armadas e dirigidos às necessidades operativas, surgem ideias originais e exclusivas do nosso país para a solução de problemas. Este aspecto, mais a busca pela Aplicação Militar e Comercial dos possíveis produtos criados por esses programas, permitirão a geração de demanda de investimentos não só das Forças Armadas, mas também de seguimentos civis da sociedade (Setores Acadêmico e Industrial), o que culminará no desenvolvimento da Indústria Nacional de Defesa.

O domínio dessas tecnologias e do desenvolvimento de soluções se torna fator gerador de assimetria positiva para as nossas Forças Armadas. O conhecimento das características de construção e os fatores de avaliação de desempenho dos projetos pesquisados subsidiarão tecnicamente futuras aquisições de dispositivos e aumentam as chances de se realizar o projeto, o desenvolvimento e a fabricação no país, contribuindo decisivamente para a independência tecnológica em sistemas de Defesa.

Referências

ACTIVE phased arrey radar. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Active_Phased_Array_Radar>. Acesso em: em 29 mai. 2014.

ISSMAEL JUNIOR, Ali Kamel. Radar de Abertura Sintética e Câmara Infravermelha de Visada Direta: aplicações operacionais. **Revista Passadiço**, Rio de Janeiro, ano XXI, 2008.

LONG range acousticdevice. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Long_Range_Acoustic_Device>. Acesso em: 29 mai. 2014.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. [Viçosa]: UFV, 2005. 320 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Estados Unidos). **Technology for the United States, Navy and Marine Marine Corps...** Washington, DC: The National Academies Press, 1997. Disponível em: <https://www.nap.edu/catalog.php?record_id=5863>. Acesso em: 29 mai. 2014.