

# A EVOLUÇÃO DAS FORMAS DE PROPULSÃO E SUAS IMPLICAÇÕES TÁTICAS\*

SERGIO DOS SANTOS SILVA\*\*  
Capitão de Corveta

---

## SUMÁRIO

Introdução  
A evolução da propulsão na História  
A propulsão híbrida  
Considerações Finais

## INTRODUÇÃO

**D**esenvolver belonaves com o objetivo de obter vantagens táticas no teatro de operações navais sempre norteou as nações beligerantes a adequar suas formas de propulsão, buscando otimizar algumas características da sua força naval, como mobilidade, versatilidade e, principalmente, permanência. Esta última característica passou a estar, recentemente, atrelada à sustentabilidade, em

função da crescente queda das reservas de petróleo de questões relacionadas à poluição ambiental.

Assim, ao longo da história humana, consegue-se identificar diversas transformações na área da propulsão e de sistemas de governo que acompanharam a evolução da mecânica e da automação de suas épocas, bem como possibilitaram o surgimento das miríades inovações tecnológicas presentes no mundo atual.

---

\* 3º colocado no Concurso de artigos da Revista *Passadiço*-2016.

\*\* Comandante do Navio-Patrolha *Bocaina*. Aperfeiçoado em Máquinas.



A evolução da propulsão

Deste modo, este artigo procura caracterizar a evolução das formas de propulsão ao longo do tempo, concentrando sua atenção nos navios de guerra, pontuando, assim, suas variações táticas e logísticas, além de apresentar a atualidade, em termos tecnológicos, e suas tendências para o futuro da guerra naval.

## A EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO NA HISTÓRIA

### *Navios a remo*

O registro histórico de embarcações a remo remonta à era antes de Cristo, e teve sua inserção dentro do cenário da guerra naval pelos egípcios por meio das primeiras galeras, que contavam, inicialmente, com 20 remadores. Gradativamente, estas em-

barcações aumentaram suas dimensões em termos de comprimento, calado e boca.

De maneira análoga, também cresceu o número de tripulantes, que chegou a 200 com os gregos, os grandes vitoriosos da principal batalha naval desta era, a Batalha Naval de Salamina<sup>1</sup>, contando com embarcações aquinhoadas de duas ou três fileiras de remos, que deram nome às embarcações birremes e trirremes.

Pode-se notar que, para este tipo de navios, prevalecia a característica da ma-

nobrabilidade e velocidade das galeras, que buscavam sempre a abordagem, invasão do navio inimigo e luta individual, onde se ressalta o surgimento de alguns artefatos navais, como o esporão<sup>2</sup> e o corvo<sup>3</sup>, desenvolvidos pelos gregos e romanos.



Embarcação a remo

1 A batalha naval de Salamina decretou a manutenção da independência dos gregos contra a investida expansionista dos persas (Segunda Guerra Médica), usando o conhecimento prévio da Baía de Salamina para derrotar o inimigo em maior número.

2 Dispositivo posicionado na proa das embarcações que visava danificar a embarcação inimiga no momento da abordagem.

3 Dispositivo inventado pelo Império Romano que visava facilitar o embarque da sua tropa no navio inimigo.

Assim, pode-se destacar que esta propulsão à base dos músculos humanos era muito restrita, em função das limitadas velocidades obtidas (cerca de 7 nós) e da extrema dependência da condição do mar e das intempéries climáticas, pois, em mau tempo, estas embarcações tinham que arribar (aproximar-se de terra para evitar danos).

### *Navios a vela*

A interação vela e remo deu origem a embarcações híbridas, que combinavam estas duas formas de propulsão e, naturalmente, fez com que os remos fossem abolidos no período do Renascimento<sup>4</sup>, caracterizando, assim, o surgimento dos canhões navais e navios com maiores calado e borda livre.



Navio de linha a vela

A utilização do vento proporcionou um aumento significativo da velocidade e também da manobrabilidade, principalmente com o advento do leme (observando princípios basilares da hidrodinâmica) e com as alterações estruturais que estes navios sofreram.



Linha de batalha

Com efeito, no século XVII, com o desenvolvimento de canhões de maior calibre, a tática da abordagem e invasão da embarcação inimiga foi gradativamente substituída pela linha de batalha, na qual os navios formavam grandes linhas, em fila única, e realizavam uma abordagem a uma distância mínima e capaz de gerar danos ao navio inimigo pelo alcance dos seus canhões. Surgiam, assim, os navios de linha, que tinham como principais características a mobilidade e o seu grande poder de fogo.

À época, vencia o combate quem se aproximava mais rápido e possuía maior habilidade no emprego dos canhões.

### *Navios a vapor*

O ocaso dos navios de linha a vela<sup>5</sup> teve início com a invenção das máquinas a vapor, criadas na Revolução Industrial inglesa. Porém a utilização destes maquinários em navios de guerra somente ocorreu em meados de 1810.

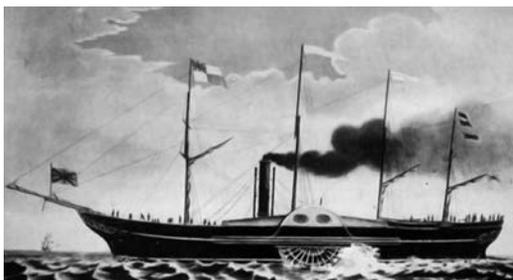
Ressalta-se que estes navios utilizavam as rodas de pás, inicialmente fabricadas em madeira e posteriormente em metal.

4 O período do Renascimento ocorreu no transcorrer dos séculos XV e XVI, envolvendo principalmente a área da ciência, da cultura e, em especial, da matemática, privilegiando sempre a razão.

5 A transição dos navios de linha para os encouraçados a vapor foi muito lenta, porém tornou-se patente após a Batalha Naval de Hampton Roads, no transcurso da Guerra Civil americana, quando um navio de linha a vela foi facilmente afundado por um navio com blindagem metálica.

Considera-se esta a maior transição dos sistemas de propulsão das belonaves, em função da substituição dos músculos humanos e do vento pela introdução do vapor, que demandava a utilização do carvão como forma inicial de combustível.

Não obstante, em meados de 1840, a relação entre as principais potências navais, França e Inglaterra, era bastante tensa, fato que as levou a uma grande corrida pelo desenvolvimento de seus meios navais, época em que a hélice surgiu para substituir definitivamente as rodas de pás, bastante frágeis e alvos certos para a esquadra inimiga.



Embarcação híbrida vela/vapor

Neste período embrionário da propulsão a vapor, consegue-se depreender algumas mudanças técnicas e táticas desta transição, como abaixo se lista:

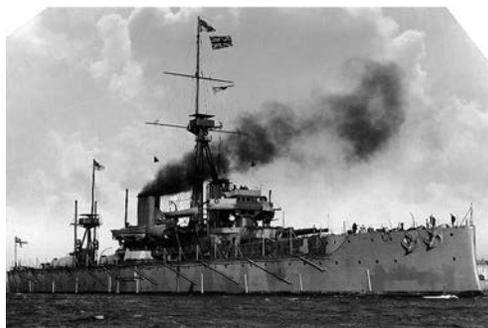
- Com a combustão, passou-se a gerar gases de descarga que podiam ser visualizados pela força inimiga com maior facilidade.

- As caldeiras a vapor tinham um alto consumo de combustível, o carvão, que, à época, por não ser um líquido, era de difícil armazenamento no navio, demandando, assim, a formação de uma grande cadeia logística de fornecimento, limitando, desta forma, a autonomia e o raio de ação destes navios.

- A enorme gama de máquinas auxiliares, necessárias à manutenção do funcionamento do navio, tornando, assim, baixos os índices de confiabilidade e disponibilidade para os sistemas em tela.

Neste mesmo período, em especial no início do século XX, com o crescimento dos estudos relacionados à resistência dos materiais e da metalurgia, surgiram os encouraçados, que tiveram como ponto de inflexão e fator motivacional a construção do HMS *Dreadnought* pela Marinha do Reino Unido.

A construção deste navio serviu para fazer frente à expansão marítima da Alemanha.



Navio encouraçado com propulsão a vapor

Contava com 18 caldeiras atreladas a turbinas a vapor, com capacidade de desenvolver velocidades próximas de 20 nós, e com costado a base de aço (couraças).

### *Navios das grandes guerras e do pós-guerra*

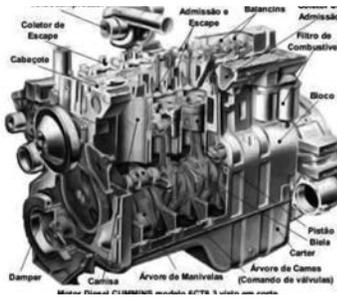
Os navios característicos da Primeira e da Segunda Guerra eram, em sua maioria, com propulsão a vapor, extremamente dependentes de um conjunto de caldeiras, muitas delas ainda alimentadas a carvão, fato que dificultava enormemente a logística e mitigava, sobremaneira, a autonomia destes navios no teatro de operações.

Entretanto, com a evolução dos sistemas de propulsão e também dos combustíveis, foram inseridos neste contexto os motores de combustão interna e as turbinas a gás. De antemão, no que tange aos combustíveis, que passaram a ser líquidos, tornou-se mais fácil a sua armazenagem a bordo por meio

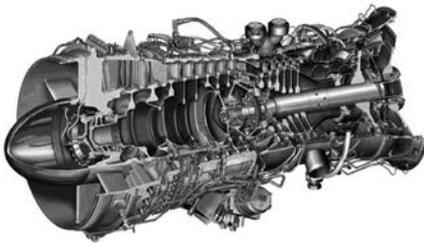
de tanques e a sua transferência por meio de navios-tanque.

Foi no período das grandes guerras que o conceito termodinâmico do rendimento térmico ganhou maior notoriedade, em função do mesmo estar atrelado à comparação entre a potência entregue à propulsão do navio e a energia disponível na queima dos combustíveis.

Neste aspecto, consegue-se identificar que as turbinas a vapor, alimentadas a carvão, possuíam rendimento na ordem de



Motor de combustão interna



Turbina a gás

10 a 20%. Com o surgimento das turbinas a gás, o rendimento otimizou-se a valores que giravam em torno de 25%; porém foi com os motores de combustão interna que a eficiência, realmente, deu um salto para valores próximos de 45% e 55%.

Outras características que trouxeram o ocaso do sistema anterior, em especial dos atrelados ao carvão, foi a diminuição

espacial dos equipamentos motrizes, fato que possibilitou aumentar o espaço livre nas praças de máquinas dos navios.

Após a Segunda Guerra Mundial, surgiu a possibilidade de combinar tipos diferentes de propulsão, que conseguiam unir a maior



Navio-aeródromo com propulsão nuclear

economia de combustível e eficiência térmica dos motores de combustão interna ao grande desempenho que as turbinas modernas proporcionaram em termos de velocidade, quando as mesmas atingiram sua maior evolução.

Desta forma, conseguia-se efetuar os deslocamentos dos navios de maneira mais econômica, gastando menos combustível, aumentando assim a autonomia destes meios. Já no teatro de operações, esta combinação, através das turbinas, proporcionava aos navios da época um aumento substancial de velocidade, que facilitava, assim, a assunção de posições táticas previstas e mudanças de postos impostas. Em suma, os navios tornavam-se mais flexíveis.

Assim, com incremento das velocidades desenvolvidas pelos navios, bem como dos armamentos (por meio da invenção dos mísseis e do aumento dos alcances dos canhões), a guerra naval fez com que as forças navais se enfrentassem a distâncias cada vez maiores, fato que influenciou as

táticas navais vigentes, contribuindo para o surgimento dos navios-aeródromos, em primeiro plano no fim da Segunda Guerra, e atualmente com navios-aeródromos a propulsão nuclear.

Em linhas gerais, a propulsão nuclear caracteriza um regresso à época das caldeiras, porém a forma de aquecimento da água, que visa à geração do vapor, é oriunda de uma reação nuclear conduzida em um reator.

Obviamente, com a evolução contínua da tecnologia, os demais equipamentos foram modernizados, inclusive as turbinas acionadoras do eixo, as quais são capazes de prover maiores torques e velocidades atreladas aos navios utilizadores, fato este que disseminou a utilização deste tipo de propulsão em navios-aeródromos de todo o mundo, os quais têm grande deslocamento e também possuem altas demandas de velocidade em função da contínua necessidade de vento para lançamento de aeronaves.

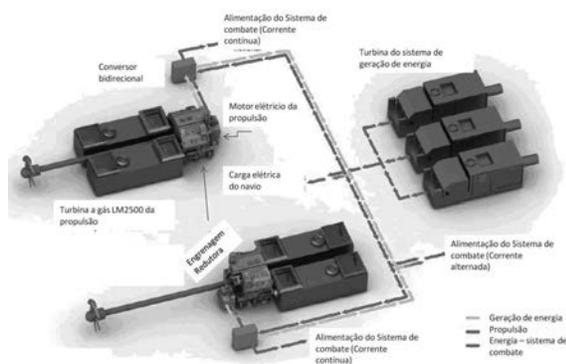
Outra herança da Segunda Guerra Mundial nos navios de superfície, em função da Batalha do Atlântico, que desencadeou uma busca excessiva por dificultar as ações de detecção dos submarinos, foi o surgimento de uma notória evolução da guerra antissubmarino<sup>6</sup>, a qual elegeu a propulsão baseada na turbina a gás como a mais silenciosa e disseminou esta forma de propulsão nos navios-escolta.

## A PROPULSÃO HÍBRIDA

Com as recentes demandas mundiais relacionadas às questões ambientais e também com a crescente pressão por redução de custos, em especial no consumo de óleo

combustível, as principais Marinhas do mundo convergiram para plantas propulsoras com altos rendimentos térmicos e baixo consumo de combustível. Entretanto, a sua reserva de velocidade foi mantida, extremamente necessária para os momentos mais críticos de uma beligerância.

Assim, a Marinha norte-americana enveredou para um projeto de modernização da planta propulsora dos navios da classe *Arleigh Burke*, que usará uma forma híbrida, caracterizada pela interação entre a forma convencional das turbinas a gás e a utilização de motores elétricos. Esta interação acontece por meio



Planta de propulsão

de um motor elétrico de alta *performance*, instalado logo após a engrenagem redutora<sup>7</sup>, que consegue manter a propulsão do navio com velocidades de até 15 nós, permitindo, assim, a parada das quatro turbinas associadas à mesma engrenagem redutora.

A alimentação deste motor elétrico acontece por meio de um conversor bidi-

6 Principalmente sob ameaça, os navios de guerra adotam a condição de navios silenciosos, em que as bombas, motores elétricos, da propulsão e geradores de energia, notoriamente menos ruidosos, são mantidos em funcionamento, a fim de dificultar o processo de detecção dos submarinos da força inimiga.

7 Engrenagem redutora tem a finalidade de adequar a rotação oriunda da fonte motriz da propulsão (motor de combustão interna, turbina a gás, turbina a vapor etc.) à rotação do eixo do navio, em geral reduzindo esta rotação, prevenindo, assim, o aparecimento de cavitação nos hélices.

recional elétrico, por meio do fornecimento de energia estabilizada oriunda do sistema de geração de energia, que também conta com turbinas a gás.

Desta forma, a economia de combustível ocorre, em sua maioria, especialmente na condição de trânsito para a cena de ação, com velocidades de até 15 nós – situação em que a maioria dos navios permanece por um maior tempo. Importante registrar que este meio consegue atingir velocidades de até 30 nós quando utilizando suas quatro turbinas propulsoras.

Ainda sobre estes escoltas, ressalta-se que a utilização de hélice de passo controlável (HPC) otimiza sensivelmente o sistema quando utilizando os motores elétricos, reduzindo a geração de ruídos atrelados à propulsão, tornando, assim, estes navios mais silenciosos, dificultando sobremaneira o processo de detecção por possíveis submarinos inimigos.

De maneira análoga e seguindo a mesma linha de raciocínio, a Marinha do Reino Unido, em especial o seu setor auxiliar (Royal Fleet Auxiliary - RFA) está projetando o seu próximo navio-tanque



Navio-Tanque

classe *Tide*, o qual seguirá critérios de sustentabilidade e de proteção ambiental em consonância com o conceito Mars<sup>8</sup>, com capacidade de transferir combustível, água doce, comida, munição e combustível de aviação.

Não obstante, ressalta-se que, neste navio-tanque, a interação com o motor elétrico ocorre tanto entre motores de combustão interna como com turbina a gás, obedecendo à mesma linha de raciocínio supracitada para os escoltas estadunidenses.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o descortinar das novas tecnologias e a própria evolução técnica no campo da engenharia, nota-se que os navios acompanharam esta progressão, fazendo surgir belonaves mais confiáveis, flexíveis e versáteis.

De maneira análoga, os maquinistas também tiveram que evoluir, tendo de adicionar ao seu portfólio de conhecimentos questões relacionadas com automação, controle e química (aplicada, principalmente, nas análises de lubrificantes e combustíveis), campos da ciência largamente empregados nas modernas máquinas de nossa atualidade.

Entretantes, tem-se por base no corrente artigo não somente a evolução dos navios e seus mecanismos de propulsão e sistema de governo, mas também suas consequências e implicações no campo da tática da guerra naval, muitas vezes pontuada neste artigo por batalhas navais homéricas.

Toda esta evolução mostrou a atual tendência da condução da guerra naval com suas forças antagônicas localizadas a

<sup>8</sup> Military Afloat Reach and Sustainability tankers (Mars) – Navio de apoio logístico sustentável, com casco duplo, a fim de atender às resoluções recentemente emanadas pela Organização Marítima Internacional (IMO).

grandes distâncias. Tal fato também se deu por conta do notório avanço nos sistemas de armas e mísseis.

Assim, não se consegue imaginar um crescimento no campo da tática naval sem passar por uma evolução na propulsão dos navios de superfície, os quais, certamente, serão exigidos ao seu limite em caso de beligerância naval, reforçando, assim, a necessidade de sistemas de propulsão extremamente confiáveis e flexíveis,

permitindo que os navios se adaptem da maneira mais célere possível às exigências do teatro de operações navais.

Por fim, pontua-se que a tendência das Marinhas mais desenvolvidas é enveredar para navios com propulsões combinadas e extremamente flexíveis, não deixando de observar as questões ambientais e a maior autonomia, principalmente no que concerne ao consumo de óleo combustível.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:  
<CIÊNCIA & TECNOLOGIA>; Propulsão; História Marítima;

## REFERÊNCIAS

- CRIMERIAN WAR. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Crimean\\_War](https://en.wikipedia.org/wiki/Crimean_War)>.
- WARSHIP. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Warship>>.
- HMS DREADNOUGHT (1906). Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/HMS\\_Dreadnought\\_\(1906\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/HMS_Dreadnought_(1906))>.
- MARINE PROPULSION. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Marine\\_propulsion](https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_propulsion)>.
- Fonseca, Joseph. Propulsion Evolusion, 05nov2013, Disponível em: <<http://www.maritimeprofessional.com/blogs/post/propulsion-evolution-14057>>.
- SHIP OF LINE. Disponível: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Ship\\_of\\_the\\_line](https://en.wikipedia.org/wiki/Ship_of_the_line)>.
- Bailey, A. Roger. Steel & Steam. Disponível: <<http://www.civilwar.org/education/history/navy-hub/navy-history/steel-steam.html>>.
- Advanced Hybrid Drive System (AHDS) for Surface Combatants. Disponível: <<http://www.northropgrumman.com/Capabilities/AdvancedHybridDrive/Documents/hybrid.pdf>>.