

# A INFLUÊNCIA DA HIDROACÚSTICA NO PROJETO DE PROPULSORES DE SUBMARINOS



Primeiro-Tenente Marcos Roberto Superbi Albergaria

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de propulsores para submarinos difere, em alguns aspectos, do desenvolvimento de propulsores para navios de superfície. A diferença mais importante é a baixa assinatura acústica exigida por um propulsor de submarino, a qual tem prioridade sobre a eficiência e exige que os propulsores sejam otimizados acusticamente em detrimento de alguma eficiência. Em virtude da capacidade dos submarinos operarem tanto na superfície quanto submersos, as condições de resistência hidrodinâmica são bem diferentes, considerando a mesma rotação no(s) eixo(s). Dessa forma, não é possível projetar um hélice ideal para operar em ambas as condições de navegação.

Em meio aos parâmetros, que podem ser variados durante a fase de projeto, o diâmetro do propulsor de um submarino apresenta poucas restrições quando comparado com o propulsor de um navio de superfície. Um aumento de diâmetro resulta em uma diminuição na tração específica (tração por unidade de área) do propulsor. Quanto ao ruído, devem ser considerados: o ruído devido à geração de tração, o ruído gerado no bordo de ataque e de fuga das pás, o ruído devido à turbulência e o ruído estrutural do propulsor.

## 2 PROPÓSITO DO PROJETO

O submarino é uma arma de guerra complexa, e de acordo com Poul Andersen<sup>1</sup>, construída para atender múltiplos requisitos conflitantes. Considerando exclusivamente o sistema de propulsão, ou seja, deixando de lado a tripulação e o armamento, alguns dos objetivos a serem alcançados pelo submarino são:

- baixa assinatura acústica, óptica, eletromagnética, térmica e comunicativa;
- larga janela operacional no que diz respeito à resistência, velocidade e profundidade;
- boa manobrabilidade na superfície e, principalmente, enquanto submerso;
- melhor arranjo possível de casco e superfícies de controle para que possa alcançar baixa resistência hidrodinâmica e uma esteira mais uniforme;
- propulsor com baixo nível de excitação de ruídos e vibrações;
- propulsor livre de cavitação em uma faixa adequada de velocidade;
- propulsor altamente eficiente.

<sup>1</sup> Poul Andersen, autor do livro *Aspects of Propeller Developments for a Submarine*.

Estes os objetivos citados acima estão, diretamente ou indiretamente, relacionados com o propulsor, o que evidencia sua importância. O diâmetro do propulsor de um submarino está sujeito a algumas restrições. As pontas das pás do hélice precisam ficar a uma determinada distância da superfície, devido ao perigo de aeração (cavitação) durante a navegação em mar agitado. Além disso, as pontas devem estar situadas a uma distância suficiente acima da quilha que permita ao submarino pousar no fundo.

A eficiência propulsiva que se pode obter de um submarino navegando na superfície é da mesma ordem de grandeza de um navio de superfície. Entretanto, no caso de um submarino submerso, o carregamento do hélice será constante em todas as velocidades devido à relação quadrática entre a resistência à propulsão e a velocidade. Experimentos mostram que a esteira de um submarino é muito diferente da esteira da maioria dos navios de superfície de um hélice, não apresentando uma região de baixa velocidade somente na parte superior do disco do hélice, ficando o mesmo em uma zona de esteira concêntrica. Esse fato permite que grande parte da energia gasta para vencer a resistência do casco possa ser recuperada, aumentando a influência das superfícies de controle situadas por ante a vante do hélice, sobre a zona de esteira. Esta recuperação de energia em submarinos de um hélice é uma das principais vantagens sobre os submarinos de dois hélices. Os resultados apresentados por esses experimentos, combinados com a necessidade de se adequar a uma margem de velocidade livre de cavitação e os requerimentos quanto a ruídos, são os principais desafios dos engenheiros navais.

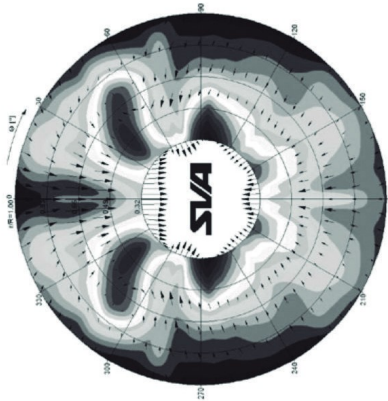


Figura 1: Esteira na região do propulsor de um submarino.

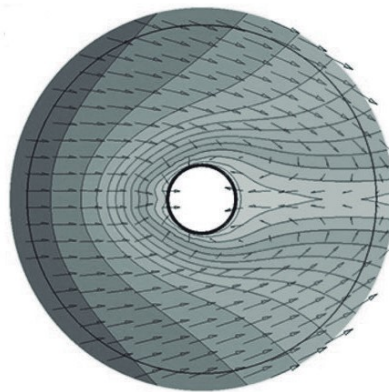


Figura 2: Esteira na região do propulsor de um navio de superfície de um eixo.

### 3 CONSIDERAÇÕES DO PROJETO

#### 3.1 Margem de cavitação

Em sua grande maioria, os navios de superfície apresentam cavitação em condições

normais de operação. Todo esforço de projeto está voltado para se evitar a cavitação nociva em forma de erosão e para que se alcancem níveis aceitáveis de ruído e vibração.

Já para os submarinos submersos, a cavitação deve ser completamente evitada para que se garanta a menor assinatura acústica possível. Na navegação submersa, a operação na faixa mais baixa de ruídos processa-se a menores velocidades. A velocidade a partir da qual os hélices começam a apresentar cavitação deve ser a mais alta possível e é preciso conciliar os requisitos da hidrodinâmica e da hidroacústica. Por esse motivo, para um submarino submerso, a margem de cavitação que determina o regime operacional não cavitante é muito importante. Segundo Poul Andersen, de uma maneira geral, as margens de cavitação são definidas pela incidência de:

- cavitação do lado de baixa pressão da pá do hélice (extradorso);
- cavitação do lado de alta pressão da pá do hélice (intradorso); e
- cavitação do vórtice do cubo do hélice.

A cavitação do extradorso e do intradorso são normalmente evitadas pela construção de hélices com pás de maior espessura do que as de navios de superfície. Esse é um dos motivos pelos quais os hélices dos submarinos são mais grossos.

O vórtice de ponta depende do gradiente de circulação da parte mais externa da pá. Isso leva a uma distribuição do gradiente de

circulação menor do que a ideal para uma boa eficiência do propulsor. Ao se aplicar os resultados obtidos com modelos a um hélice de tamanho real, a cavitação da ponta das pás deve ser corrigida devido ao efeito de escala.

A formação do vórtice de cavitação parece ser muito dependente da geometria da ponta, o que requer que a ponta da pá seja menos carregada, resultando em uma menor eficiência do propulsor.

A cavitação do vórtice do cubo consiste da combinação dos vórtices das raízes das pás. De forma semelhante ao vórtice das pontas, o vórtice do cubo depende do gradiente de circulação da parte mais interna das pás. A intensidade da cavitação do vórtice do cubo pode ser atenuada diminuindo-se o carregamento das pás em direção à raiz. Da mesma forma, essa solução também resulta em uma diminuição da eficiência do propulsor. Meios alternativos de supressão da cavitação do vórtice do cubo podem ser utilizados por meio da aplicação de um revestimento com pequenas superfícies de sustentação na ponta do cubo, o que diminui a rotação do vórtice do cubo, ou por meio de um revestimento que gere uma turbulência suficiente para que se evite a cavitação.

A forma mais intuitiva e prática de se apresentar as margens de cavitação do propulsor para o operador é por meio de ábacos ou gráficos em função das cotas e velocidades operacionais, o que pode contribuir para a rápida e segura tomada de decisão durante o combate.



Figura 3: Cavitação do vórtice do cubo e das pontas das pás do propulsor.

### 3.2 Redução das forças induzidas pela esteira

Roy Burcher<sup>2</sup> considera como o fator mais importante, no que diz respeito às forças induzidas pelo propulsor, a esteira produzida pelo casco, seja em navios de superfície ou em submarinos. Contudo, para uma dada região de esteira, o número de pás de um propulsor pode ser considerado o fator mais importante. Aumentando-se o número de pás de um propulsor, são reduzidas as forças instáveis em cada pá, mas não necessariamente a força instável total. Assim sendo, pode-se concluir que as pás mais grossas do hélice de um submarino não se devem somente à cavitação do extradorso, do intradorso e do vórtice do cubo, como visto anteriormente, mas também

<sup>2</sup> Roy Burcher, autor do livro *Concepts in Sumarine Design*.

devido às forças instáveis.

Vale ressaltar que, em grande parte, as pás do hélice devem ser mais espessas à medida que sua corda diminui em relação à envergadura, pois as pás se tornam menos largas e compridas, o que requer um maior reforço estrutural da mesma.

## 4 ACÚSTICA DOS PROPULSORES

No que diz respeito à sua eficácia, um submarino é altamente dependente da sua assinatura acústica, devido à sua tarefa especial de arma que opera na maior parte do tempo de forma passiva. O ruído do fluxo hidrodinâmico domina, em particular, a performance do sistema sonar. Os ruídos próprios do submarino se correlacionam com a faixa de detecção, no que diz respeito a detectar outros navios ou ser detectado. São identificados três tipos de ruídos:

- ruídos de tração, que dominam o nível nas baixas frequências (< 100 Hz);
- ruídos do bordo de ataque das pás (200-1000 Hz); e
- ruídos de banda larga (100-1000 Hz).

A detecção de um submarino é efetivamente realizada por meios acústicos. Outros meios como radares e câmeras que operam em baixa luminosidade também são utilizados, porém são cada vez menos eficazes, tendo em vista que os modernos submarinos nucleares raramente vão à superfície, onde poderiam ser detectados por esses tipos de dispositivos. Outros detectores, como sensores infravermelho e o detector de anomalias magnéticas também são utilizados, mas podem apresentar baixa resolução e curto alcance de detecção. Isso mostra

a importância da baixa assinatura acústica de um submarino, em particular do seu propulsor, para que diminua a probabilidade de ser detectado por um sistema acústico passivo. A principal característica para o desenvolvimento de um propulsor acusticamente otimizado é a frequente verificação de suas propriedades acústicas.

## 5 FLUTUAÇÃO DA TRAÇÃO

A oscilação da tração é, provavelmente, a fonte acústica dominante. Por outro lado, as flutuações da tração não são as únicas fontes quando levamos em consideração o ruído. Testes com navios reais indicam diferenças entre os valores medidos e os valores calculados. De uma maneira geral, uma redução de 50% na flutuação de tração, resulta em uma redução de 6 dB no nível de ruído, o que, teoricamente,

reduz pela metade a faixa de detecção de um submarino. A ordem acústica é proporcional à ordem harmônica, ao número de pás, à razão de giro e à força de flutuação harmônica.

Consequentemente, o diâmetro, a torção e o número de pás do propulsor devem ser escolhidos com cuidado. Testes com propulsores apresentaram uma grande redução no ruído devido à flutuação de tração após ser aumentado o número de pás dos propulsores de 4 para 7 ou 8 pás, tendo o segundo apresentado uma redução maior, com cerca de 10 dB de diferença.

Embora a flutuação de tração possa ser reduzida com um propulsor bem projetado, é importante enfatizar que a otimização da esteira deve ser levada em consideração nas fases iniciais do projeto, pois uma esteira com perturbações excessivas não é uma boa referência no processo de minimização de ruídos.

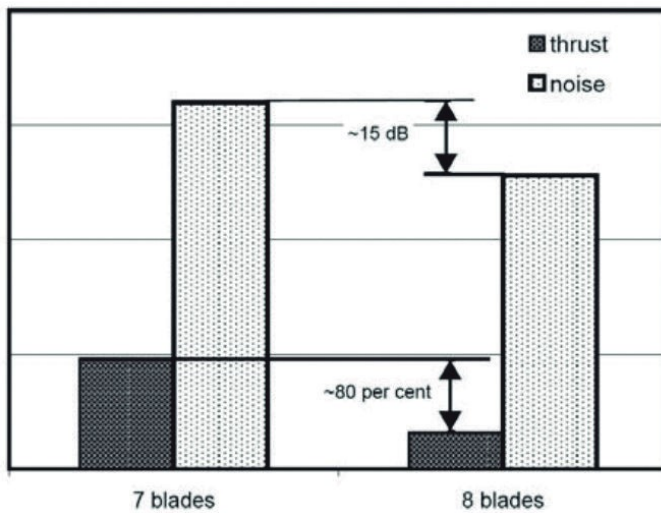


Figura 4: Redução de ruído por um propulsor de 8 pás.

## 6 CONCLUSÃO

A principal consideração na fabricação de um propulsor de submarino é a baixa assinatura acústica e uma das diversas maneiras de obtê-la é utilizando-se propulsores de 7 ou 8 pás para que se diminua a flutuação da tração e, conseqüentemente, o ruído. Os submarinos de um hélice apresentarão uma alta eficiência propulsiva se for possível combinar baixas rotações, baixo carregamento do hélice e aproveitamento da esteira em favor da propulsão. Tal eficiência poderá ser maior do que a de qualquer outro navio movido a hélice.

Tento em vista tais peculiaridades, as Marinhas não permitem que sejam fotografados os hélices de seus navios no dique, principalmente os dos submarinos. A informação do número de pás e do formato de um hélice pode facilitar a obtenção de dados da sua curva de cavitação por meio de algoritmos específicos. O conhecimento da assinatura acústica de um propulsor pode auxiliar na identificação do submarino quando este for detectado.

Nos contratos de compra de submarinos, o hélice é tratado de forma especial. A empresa que constrói o submarino oferece modelos de vários tipos de hélices ou instala um modelo de outro fabricante escolhido pelo cliente. É especificado no contrato que o fabricante não poderá vender o mesmo tipo de hélice para outro comprador. Ulrich Gabler afirma que, na maioria das vezes, os hélices usados no lançamento de um submarino não são os definitivos, sendo substituídos logo após as provas de mar.



Figura 5: Propulsor de 7 pás.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSEN, Poul. et al. **Aspects of Propeller Developments for a Submarine**. First International Symposium on Marine Propulsors. Trondheim: 2009. p. 8.
- BURCHER, Roy; RYDILL, Louis. **Concepts in Submarine Design**. Melbourne: Cambridge University Press, 1994.
- GABLER, Ulrich. **Submarine Design**. 4 ed. Munich: Bernard & Graefe Verlag, 2000.