

Resistências Hidrodinâmicas Observados em Projetos Navais

Hydrodynamic Resistances Observed in Naval Projects

Jefferson Willian Ferreira^{*a}, Luciene Vanessa Maia da Rocha Judice^b, Lucas Heldt^a

^aFaculdade Pitágoras de Poços de Caldas, Curso de Engenharia Mecânica. MG, Brasil.

^bUniversidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Mecânica. SP, Brasil.

*E-mail: jeffswillian@live.com

Resumo

O presente estudo conceitua quais as aplicações e implicações que a hidrodinâmica apresenta para a Engenharia Naval. Tendo o entendimento que todos os conceitos fundamentais da Hidrodinâmica influenciam em projetos navais. Objetivando conhecer as principais resistências hidrodinâmicas que interferem no movimento de um navio. O estudo se baseia em autores conceituados da Engenharia Naval, que transmitiram seus conhecimentos através de livros e artigos científicos. A metodologia abordada é de uma pesquisa bibliográfica que segue as normas da ABNT. Os resultados e conclusões são qualitativos, além de abranger alguns princípios náuticos. Conclui-se que os fluidos possuem características específicas que eventualmente se associam ao seu escoamento. Diversos fatores também estão presentes, no entanto se enfatiza sobre as ações das tensões normais, cisalhantes e superficiais. Tais aspectos influenciam significativamente no movimento de um navio sobre a superfície de águas calmas, sem levar em consideração o movimento das ondas. Assim para que o navio possa alcançar as velocidades requeridas, é preciso primordialmente descobrir as resistências presentes que interferem neste movimento. Desse modo os fatores de resistência precisam ser conhecidos, pois assim será possível selecionar qual o motor mais adequado. O motor correto irá gerar a potência efetiva necessária para o movimento do navio. Contudo o navio poderá enfrentar as resistências resultantes, alcançando desse modo as velocidades que o condutor desejar.

Palavras-chave: Hidrodinâmica. Resistência Friccional. Resistência de Pressão Viscosa. Projeto Naval. Potência Requerida.

Abstract

The present study conceptualizes as applications and the implications of a hydrodynamics presented for Naval Engineering. To the support the personal character of the Hydrodynamics influence in naval projects. Aiming to know as the main hydrodynamic resistances that interfere with the movement of a ship. The project is based on renowned authors of Naval Engineering, who transmit their knowledge through books and scientific articles. The methodology is bibliographic research that follows the norms of ABNT. The results obtained are qualitative, besides covering some nautical principles. It concludes that the fluids have specific characteristics that eventually associate with their flow. Diverse, 1, 4, 4, 5, 4, 5 These aspects significantly influence the movement of a planet on a surface of calm waters, without any consideration of the movement of the waves. What may be able to trigger when searches are needed is primarily to discover how resistances interfere with this movement. In this way, the character types are better known, so it may be faster to select the most suitable engine. The engine will generate a necessary installation for the movement of the ship. The portal can have the resistances supported, thus achieving the speed that the driver wishes.

Keywords: *Hydrodynamics. Frictional Resistance. Viscous Pressure Resistance. Naval Project. Required Power.*

1 Introdução

A humanidade se preocupa com obras hidráulicas desde os seus primórdios. Registros que aludem à antiguidade demonstram que babilônicos, egípcios e gregos já utilizavam princípios hidráulicos para solucionar os seus problemas agrícolas e sanitários. Ao passo de séculos, o aprimoramento de técnicas e o estabelecimento de novos conceitos, possibilitou a construção de grandes aquedutos, maquinários hidráulicos e principalmente a renovação tecnológica de grande porte como, por exemplo, as Usinas Hidrelétricas. No entanto para que fosse possível alcançar tais objetivos, nomes como Torricelli, Daniel Bernoulli, Euler, Reynolds dentre outros entusiastas cientistas, precisaram dedicar-se para esse

ramo científico poder avançar. Deles surgiu todo o progresso para a base científica conhecida como Mecânica dos Fluidos (BRUNETTI, 2002).

Com a chegada de computadores a possibilidade de investigação foi ampliada, o processamento de dados auxiliou em cálculos mais exatos, além é claro de abreviar o tempo. Logo o comportamento dos fluidos pode ser fundamentado em análises computacional e em simulações laboratoriais, o que possibilita a descoberta das forças resultantes em que os fluidos são submetidos quando estes se encontram estáticos ou em movimento (CARVALHO, 2002).

A soma de tais forças resulta em uma resistência ao avanço, sendo necessário conhecê-las para que seja possível estipular a potência necessária para vencê-las. E assim ser possível que

a embarcação alcance a velocidade de movimento requerido (LEWIS, 1988).

Logo este trabalho tem como objetivo apresentar as forças hidrodinâmicas em que uma embarcação sofre quando esta se encontra sobre a influência de ondas calmas.

2 Desenvolvimento

2.1 Fundamentos dos Fluidos

2.1.1 escoamento Laminar e Turbulento

Ao considerar um fluido com propriedade incompressível e sem força interna de atrito ou viscosidade, este se caracteriza como um fluido ideal. No entanto é importante ressaltar que esta característica não é real, pois mesmo que pequena, os fluidos sofrem as influências físicas. Para Carvalho (2002) no início qualquer escoamento, é instável, mas, na maioria dos casos, passa a ser estacionário depois de certo período de tempo. No escoamento estacionário a velocidade permanece constante em relação ao tempo, mesmo que a velocidade de uma determinada partícula pode variar ao longo da linha de escoamento. (CARVALHO, 2002; BRUCE; DONALD; THEODORE, 2004, p.15).

Pode-se dizer que as partículas se movimentam de modo bem definidas e não se cruzam no escoamento laminar. As lâminas de movimento são individualizadas sem realizar a troca de massa entre as partículas e possuem a mesma velocidade. Assim o movimento em qualquer ponto é previsto, no entanto este tipo de escoamento é o menos observado na prática (CARVALHO, 2002; BRUCE; DONALD; THEODORE, 2004).

O contrário acontece com o escoamento turbulento, pois o movimento das moléculas do fluido é desordenado. As moléculas que passam pelo mesmo ponto não possuem a mesma velocidade, dificultando a realização de previsões sobre o comportamento do fluido. Carvalho (2002) diz que se “um corpo se move através de um fluido, de modo a provocar turbulência, a resistência ao movimento é bastante grande.”. Por este motivo se considera o escoamento turbulento inapropriado já que pode acarretar alguns perigos. Por este motivo que carros, aviões e navios conservam em seus projetos, técnicas para evitar a turbulência (CARVALHO, 2002; BRUCE; DONALD; THEODORE, 2004).

A partir de toda informação coletada, Reynolds observou que o fato de o escoamento ser laminar ou turbulento advém do conjunto de grandezas, velocidade média do fluido, longitude característica do fluxo ou diâmetro para o fluxo no tubo e a viscosidade dinâmica do fluido (BRUCE; DONALD; THEODORE, 2004).

Bruce, Donald e Theodore (2004) dizem que o movimento turbulento é variado por natureza, devido às flutuações da velocidade em cada ponto, podendo, no entanto, considerá-lo como permanente ao adotar cada ponto uma média das velocidades em relação ao tempo.

2.2 Comportamento Físico dos Fluidos

A partir do momento em que um fluido escoar, este sofre atrito entre as moléculas que se movimentam. A nomenclatura dessa grandeza é conhecida como viscosidade, onde o conceito é definido como sendo a resistência que o fluido possui ao movimento. Quanto maior a viscosidade maior será a sua dificuldade de escoar (CARVALHO, 2002).

Então o fluido começa a produzir calor, situação ocasionada por causa da conversão de energia térmica. Tal capacidade de resistir ao cisalhamento, não é definida como um padrão para todos os fluidos. Ao contrário, cada fluido pode apresentar “essa propriedade com maior intensidade do que o outro”. (FERNANDEZ; ARAÚJO; ITO, 1998, p.15).

A pressão é outro conceito que influencia diretamente os fluidos. O termo pressão é definido como sendo uma “força normal por unidade de área que atua sobre um ponto do fluido num dado plano”. (BRUCE; DONALD; THEODORE, 2004, p.35). É importante ressaltar que as tensões normais associadas a um fluido em repouso são diferentes em relação aos fluidos que apresentam escoamento relativo entre as partículas (CARVALHO, 2002).

A lei relativa à pressão que deve ser ressaltada é a Lei de Stevin. Esta diz respeito à variação de pressão que “os corpos experimentam à medida que se aprofundam num fluido” (CARVALHO, 2002, p.13). O total da pressão no fundo do líquido é regido com a pressão atmosférica que exerce em uma superfície livre do líquido, mais a pressão ocasionada pelo peso do líquido. Foi pelo italiano Torricelli a descoberta da pressão atmosférica, que a definiu como a pressão resultante dos gases que se acumulam em cima da superfície do líquido. A pressão atmosférica apresenta grandes variações, pois a altitude e condições ambientais específicas resultam nessas variações. Desse modo atendendo a necessidade de se adicionar o conceito em projetos aeroespacial e da aviação, foi preciso definir uma atmosfera padrão.

Por último, a tensão superficial é outro fator a ser comentado. Este é um comportamento “entre um líquido e um gás (ou entre dois líquidos imiscíveis), a existência de forças superficiais. Estas forças fazem com que a superfície do líquido se comporte como uma membrana esticada sobre a massa fluida” (MUSON; YOUNG; OKIISHI, 2004, p.21).

2.3 Hidrodinâmica na Engenharia Naval

2.3.1 Conceitos e Aplicações

O avanço tecnológico computacional proporcionou a conceituação do estudo da aplicação de métodos numéricos, especialmente nas áreas de geração de malhas, no tratamento de conjunto de dados e em simulações de escoamentos. O modelo matemático possibilita reger os comportamentos do navio, sendo estabelecidas equações do movimento para simulações mais precisas (COUTINHO JUNIOR, 2014).

Tais áreas são constituintes da mecânica dos fluidos computacional, que eventualmente dedica estudar a

“estimativa numérica confiável da força de resistência experimentada por um navio ao se deslocar sobre a superfície da água” (SIMOS, 2007), mesmo que não consiga consolidar por completo seus conceitos. A determinação da resistência ao avanço de uma embarcação de superfície depende fortemente de vários ensaios em tanques de prova e de modelos empíricos que simulam o real (LEWIS, 1988; SIMOS, 2007; STORCH et al., 1995).

Observando um navio se movimentando de modo constante em águas calmas, com ausência de ondas, este se depara com uma resistência de movimento provida de uma ação advinda de uma força que opõe ao seu deslocamento. Pode-se decompor esta força em alguns fatores que relacionam entre si, dando-se o atrito da água sobre o casco, a geração de uma esteira rotacional à jusante do escoamento e por final as ondas na superfície (FALTINSEN, 2005; LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

A determinação de tais resistências ao avanço advém de modelos simplificados que estão fundamentados em efeitos hidrodinâmicos. Inicialmente se realiza uma análise individual de cada componente de resistência, no entanto todas as interações entre si são levadas em consideração (LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

2.4 Resistência Friccional

A superfície molhada do casco sofre uma força de atrito ocasionado pelo contato do fluido com o casco. Essa força de atrito ocasiona uma resistência friccional que interagem com outras forças impedindo o avanço do navio. Simos (2007) cita que o “atrito está diretamente ligada à viscosidade da água e a força total exercida pelo fluido será diretamente proporcional à área de superfície molhada do casco”. A magnitude das forças de atrito está completamente relacionada com o número de Reynolds onde este é a razão do coeficiente de viscosidade dinâmica do fluido (LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

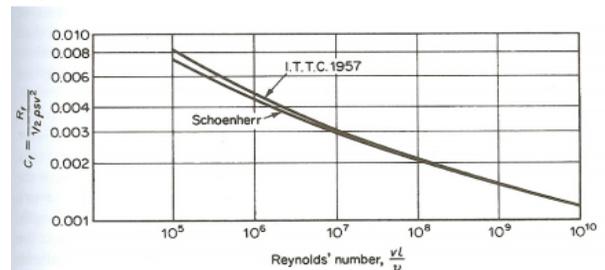
A determinação da resistência friccional se baseia na força exercida pelo fluido em uma placa plana que possui a mesma área de superfície molhada do casco. Sobre a placa plana há a ação do escoamento, podendo ser escoamento laminar ou escoamento turbulento. Logo o tipo de escoamento influencia muito sobre o atrito, ou seja, sobre as tensões de cisalhamento, este que é exercido pelo fluido sobre a placa (FALTINSEN, 2005; LEWIS, 1988).

O que determina o ajuste de resultados no escoamento laminar é a função chamada de linha de Blasius utilizada para valores baixos de Reynolds. No entanto no casco dos navios o escoamento encontrado é o turbulento, apresentando um número elevado de Reynolds. No turbulento o que a função que ajusta melhor o coeficiente de fricção sobre uma placa plana é conhecido como linha de Schoenherr. Pode-se observar que para um casco com 100 metros de comprimento e com a velocidade de deslocamento de 5 metros por segundo (aproximadamente 10 nós), temos Reynolds de 5×10^8 (LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

Precisa-se enfatizar que estimar a resistência de fricção no modelo de placa plana não é totalmente precisa, pois é necessário levar em conta a influência da geometria do casco sobre as forças de atrito que recebe uma variação de velocidade (BRUCE; DONALD; THEODORE, 2004; LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

Para determinar uma estimativa mais segura e precisa da resistência de fricção sobre os cascos de formas usuais, a ITTC (International Towing Tank Conference), utilizou em 1957 “uma série de medições de resistência de navios (escala real) e em ensaios com modelos em tanques de provas” (SIMOS, 2007), a média de resultados obtidos pela ITTC e a comparação com Schoenherr (Figura 1). O objetivo era propor uma correlação os resultados obtidos em ensaios de tanques de provas para a escala real. (LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

Figura 1 – Comparação das linhas de Schoenherr e ITTC 1957



Fonte: Tupper (1996, p.361).

A proposta de variação da componente friccional de Schoenherr (placa plana equivalente) é ligeiramente diferente daquela apresentada pela ITTC.

2.5 Resistência de Pressão Viscosa

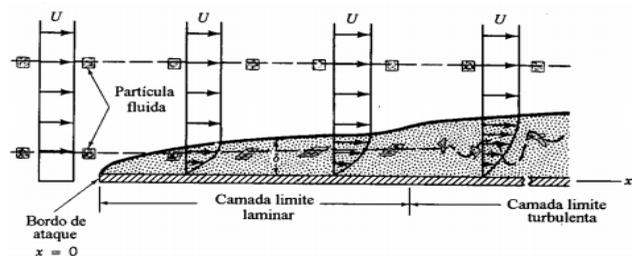
Como já fora observado há uma parcela de resistência viscosa que é dependente do formato do casco. Isto ocorre simplesmente pela variação de velocidade ao longo do casco. Caso o número de Reynolds for muito grande, os efeitos viscosos serão importantes apenas na região da camada limite, conhecida também como região de esteira (MOLLAND, 2008).

Bruce, Donald e Theodore (2004, p.490) explicam que

os gradientes de velocidade normais ao escoamento são relativamente pequenos fora da camada limite e o fluido se comporta como se fosse invíscido (mesmo que a viscosidade não seja nula).

A variação do tamanho da camada limite e a estrutura nela confinado, é causado pelo formato do objeto onde se desenvolve a camada limite. Eventualmente a presença da camada limite sobre o casco do navio afeta a distribuição de pressão sobre a superfície molhada, afetando também a força resultante. Na Figura 2 observa-se que a partícula fluida destorce enquanto escoar na camada limite (BRUCE; DONALD; THEODORE, 2004; SIMOS, 2007).

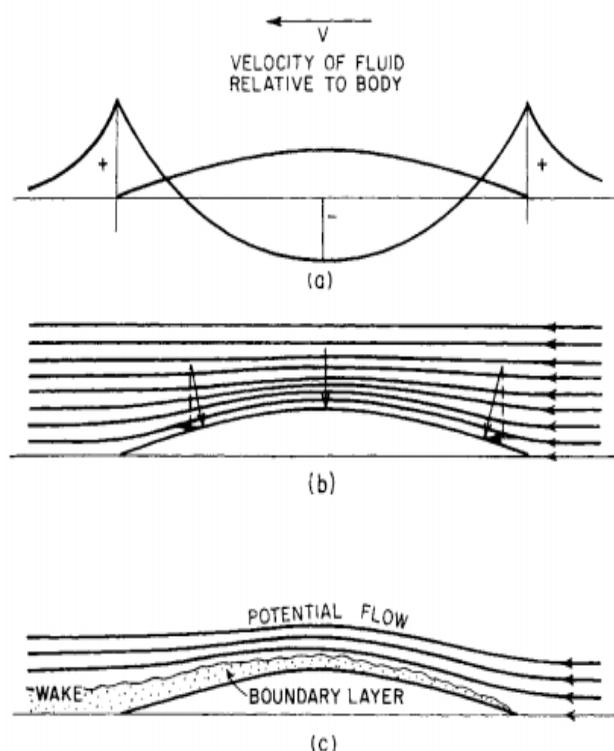
Figura 2 – Distorção de uma partícula fluida enquanto escoa na camada limite



Fonte: Bruce, Donald e Theodore (2004, p.491).

Caso o fluido fosse desprovido de viscosidade como mostrado na Figura 3 (a), a força de arrasto resultante seria nula, pois a distribuição de pressão seria simétrica. Assim as regiões de proa e popa possuiriam velocidade de fluxo menor do que a velocidade de longe (b), tendendo a pressões maiores nesta região (BRUCE, DONALD e THEODORE, 2004; LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

Figura 3 – Distorção de uma partícula fluida enquanto escoa na camada limite



Fonte: Lewis (1998, p.3).

Claramente na realidade todo fluido possui viscosidade, mesmo que mínimo. É a viscosidade que mantém a camada de fluido aderida no casco do navio. As partículas fluidas aumentam sua velocidade gradualmente à medida que se afastam desta superfície. A variação da velocidade da camada limite ilustrada na Figura 3 (c) ocasionada o “atrito experimentado pelo corpo, dando origem à resistência friccional” (SIMOS, 2007, p.14).

Os navios normalmente apresentam geometrias abruptas afetando a camada limite que tende a descolar do corpo,

formando então turbilhões no fluxo (d), que para ser formados gastam energia, que é sentida como força de resistência ao avanço. A camada limite, o seu deslocamento e a esteira que se forma adjunto do corpo, afetam o campo de velocidade da popa e o campo da pressão (BRUCE; DONALD; THEODORE, 2004; LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

Via de regra, a tendência é uma redução da pressão na região de popa, que assim deixa de contrabalançar a região de pressão positiva na proa. Isso acaba por induzir uma força de resistência. Como o mecanismo que gera essa força em sua origem na ação de efeitos de viscosidade sobre o campo de pressão, refere-se a esta componente de resistência como resistência viscosa (SIMOS, 2007).

Assim pode-se observar que quanto mais robusto for o casco do navio, mais a sua participação é observada na resistência total.

2.5.1 Potência Requerida

Há diversos outros componentes que contribuem com uma parcela de força, como por exemplo a aerodinâmica da embarcação, além de situações que levam em consideração a correnteza marítima e as ondas do mar (LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

A garantia maior para obtenção da resistência advém do emprego de ensaios em tanque de provas. Simos (2007) afirma que no princípio do projeto quando a geometria do casco ainda pode sofrer maiores modificações, normalmente a resistência é estimada de forma mais grosseira, quando as formas do casco já estão mais consolidadas, parte-se para ensaios com modelo em tanque de provas.

Todo o estudo realizado para compreender a resistência de avanço envolvido no projeto de um navio, cominam em fornecer os resultados para determinar a potência do motor para que o navio possa alcançar uma determinada velocidade. A presença do propulsor altera o escoamento sobre o casco, tendo um efeito sobre a resistência. A potência efetiva é relacionada com a velocidade que se deseja alcançar, no entanto é preciso levar em consideração as perdas de potências associadas ao propulsor, à transmissão e ao próprio motor. Desse modo a potência instalada deve ser superior à potência efetiva (LEWIS, 1988; SIMOS, 2007).

3 Conclusão

O estudo evidenciou que em projetos náuticos os conhecimentos hidráulicos são extremamente essenciais para a efetividade do projeto. O que constituem um fluido é de suma importância para a compreensão dos comportamentos que este está sujeito. Por possuir a capacidade de escoamento, este se encontra sujeito a diversos fatores, como por exemplo, a resistência ao escoamento (viscosidade) e as tensões normais e superficiais.

Os fatores que o fluido é submetido tendem a determinar como será o seu escoamento. O escoamento laminar é considerado o mais adequado, no entanto diversos fatores

agem sobre o fluido, sendo praticamente impossível de se observar, principalmente em construções navais, este tipo de escoamento. As resistências hidrodinâmicas influenciam a ocorrência do escoamento turbulento.

Percebe-se que para a construção de navios é preciso estudar todos os parâmetros citados. Através de simulações e conhecimentos hidrodinâmicos é possível entender quais resistências que um navio pode estar sujeito ao se movimentar. A resistência friccional e a resistência de pressão viscosa são resultantes determinadas apenas com os conceitos hidrodinâmicos.

Tendo como compreendido os fatores que um navio se encontra sujeito, pode-se determinar a potência adequada que se contrapõe as resistências ao movimento, permitindo então que o navio alcance a velocidade requerida.

Referências

BRUNETTI, F. Mecânica dos fluidos. São Paulo: Person Prentice Hall, 2008.

CARVALHO, L.F.F. Curso de formação de operadores de refinaria: física aplicada. Rio de Janeiro: UnicenP, 2002.

COUTINHO JUNIOR, E.S. Modelação Hidrodinâmica de um Navio em um Simulador através de um Modelo Empírico. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

FALTINSEN, O.M. Hydrodynamics of high-speed marine vehicles. New York: Cambridge University Press, 2005.

FERNANDES, M.F.; ARAUJO, R.; ITO, A.E. Manual de hidráulica. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

LEWIS, E.V. Principles of naval architecture vol ii: resistance, propulsion and vibration. Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.

MOLLAND, A.F. The maritime engineering reference book: a guide to ship design, construction and operation. Burlington: Elsevier, 2008.

MUNSON, B.R.; YOUNG, D.F.; OKIISHI, T.H. Fundamentos da mecânica dos fluidos. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

STORCH, R.L. et al. Ship production. Maryland: Cornell Maritime Press, 1995.

SIMOS, A.N. Especialização em engenharia naval. Recife: Universidade de Pernambuco, 2007.

TUPPER, E., Introduction to naval architecture. Boston: Butterworth-Heinemann, 1996.