

**MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE**

RAYZA JANSEN DOS SANTOS

PROPULSORES ESPECIAIS E SUAS MANOBRAS

**RIO DE JANEIRO
2015**

RAYZA JANSEN DOS SANTOS

PROPULSORES ESPECIAIS E SUAS MANOBRAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Hermann Regazzi Gerk
Engenheiro químico especialista em
mecânica dos fluídos

**RIO DE JANEIRO
2015**

RAYZA JANSEN DOS SANTOS

PROPULSORES ESPECIAIS E SUAS MANOBRAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Hermann Regazzi Gerk

Engenheiro químico especialista em mecânica dos fluídos

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por terem sido a minha base da minha formação ética e moral, especialmente à minha mãe, Eurides, pois não mediu esforços a fim de me ver onde estou hoje. Agradeço também ao meu pai, Luiz Carlos, por ter me mostrado sempre que a melhor escolha era o que me fazia feliz. Agradeço aos meus verdadeiros amigos por terem entendido todas às vezes que os deixei de lado para focar na minha formação. Por fim, agradeço ao meu orientador, professor Hermann, por ter-me mostrado o caminho na confecção de meu trabalho.

Crescer significa mudar e mudar envolve riscos, uma passagem do conhecido para o desconhecido.

(William Paul Young)

RESUMO

Este trabalho tem por fim apresentar ao público diversos aspectos dos propulsores especiais e as manobras que podem ser feitas com esses tipos de propulsores como um todo. Bem como alguns aspectos importantes para a realização de manobras.

Palavras-chave: Manobra. Propulsores. Azimutais. Propulsores Transversais. Propulsores Contra Rotativos. Propulsor *Voith Schneider*. Posicionamento dinâmico. Sistema *Anti-roll* Manobrabilidade.

ABSTRACT

This Project aims to present to the public different aspects of special propellers and maneuvering that can be done with these types of propellers as a whole. As well as some important aspects for carrying out maneuvers.

Keyword: Maneuver. Thrusters. Azimuth. Transverse Thrusters. Thrusters Contra Rotary. Voith Schneider Propeller. Dynamic Position. Anti-Roll System. Maneuverability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Deslocamento do ponto <i>pivot</i>	13
Figura 2 – <i>Leme com flap</i>	15
Figura 3 – <i>Leme Schilling</i>	16
Figura 4 – Comparação entre desempenho de um leme convencional, um leme com flap (<i>Becker</i>) e um leme tipo <i>Schilling</i>	17
Figura 5 – Caminho de um perfil Voith através da água	19
Figura 6 – Alteração da orientação das pás do propulsor cicloidal mudando a direção do <i>thruster</i>	20
Figura 7 – Voith water tractor	21
Figura 8 – Forças aplicadas no cabo de reboque	22
Figura 9 – Comparação entre a força de guinada de um Voith water tractor e um Azimuth Stern Drive	23
Figura 10 – <i>Voith Water Tractor rebocando em linha</i>	23
Figura 11 – Compensação de balanço	24
Figura 12 – Redução de balanço	25
Figura 13 – Exemplo de propulsor azimutal	27
Figura 14 – <i>Azipod</i>	28
Figura 15 – Exemplo de um <i>Z-drive</i>	28
Figura 16 – <i>L-drive</i>	29
Figura 17 – <i>Twin propeller</i>	30
Figura 18 – Propulsor azimutal contra rotativo	31
Figura 19 – Propulsor azimutal rebatível	32
Figura 20 – Propulsor azimutal retrátil	32
Figura 21 – Fluxo do propulsor em um ângulo de inclinação de 0° e 8°	34
Figura 22 – Arrasto transverso	35
Figura 23 – Exemplo de <i>rotor tug</i>	36
Figura 24 – Posicionamento dos propulsores azimutais no rotor <i>tug</i>	37
Figura 25 – Gráfico comparativo rebocador convencional e Aquamaster	38
Figura 26 – Propulsor transversal	39
Figura 27 – Símbolo de localização do propulsor transversal na proa	40
Figura 28 – Propulsor transversal na proa	40
Figura 29 – Manobra em dois tempos utilizando <i>bow thruster</i>	41
Figura 30 – Propulsor transversal do navio de cruzeiro do Independence of The Seas	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLA

VSP – Voith Schneider Propeller

VRS - Estabilizador de balanço Voith

DP – Posicionamento dinâmico

CFD - Computational Fluid Dynamics

ASD – Azimuth Stern Drive

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	A IMPORTÂNCIA DO PONTO <i>PIVOT</i> NA MANOBRA DE NAVIOS	12
3	PROPULSORES – UMA VISÃO GERAL	14
4	EMBARCAÇÕES DOTADAS DE PROPULSORES CONVENCIONAIS	15
4.1	Manobra utilizando propulsores convencionais	17
5	PROPULSOR CICLOIDAL (VOITH SCHNEIDER)	19
5.1	Manobra utilizando Propulsor Cicloidal (Voith Schneider) em rebocadores	20
5.2	Manobra de compensação do balanço	24
6	PROPULSORES AZIMUTAIS	26
6.1	Em relação a localização do motor, são divididos em dois tipos:	27
6.1.1	Transmissão elétrica	27
6.1.2	Transmissão mecânica	28
6.2	Twin propeller	29
6.3	Propulsor azimutal Contra-rotativo	30
6.4	Propulsor azimutal rebatível	31
6.5	Propulsor Azimutal Retrátil	32
6.6	Utilização de propulsores azimutais em plataformas	33
6.7	Manobra utilizando propulsores azimutais	34
6.7.1	Arrasto transversal utilizando Azimuth Stern Drive	34
6.7.2	Arrasto transversal utilizando rotor tug	36
7	PROPULSORES TRANSVERSAIS	39
7.1	Manobra utilizando propulsores transversais	41
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial do comércio internacional marítimo ao longo dos anos com o intuito de atender as movimentações de carga em nível local, regional e internacional forçou os navios a crescerem em tamanho e sofisticação. Hoje em dia os navios são especialmente desenhados para maximizar capacidade, segurança, eficiência e durabilidade.

Os navios da atualidade têm restrições físicas para chegar aos terminais marítimos, devido aos canais estreitos da entrada dos portos, por exemplo. Visto isso, as empresas de construção de navios tiveram que se adequar e criar novas soluções para antigos problemas. Essas novas soluções atingiram os próprios navios ou até mesmo os navios de apoio portuário abrangendo não só o casco como também propulsores. Entretanto manobrar não depende somente da vontade do operador, depende também das características gerais do navio, motor principal, das características do casco do navio

Com o objetivo de apresentar os novos propulsores e as manobras que podem ser feitas com esses tipos de propulsores este trabalho expõe, de maneira sucinta, as características de cada propulsor e as principais manobras realizadas com estes, de forma que o leitor tenha um maior entendimento sobre o assunto.

2 A IMPORTÂNCIA DO PONTO *PIVOT* NA MANOBRA DE NAVIOS

A fim de um maior entendimento do que será tratado nesse trabalho é necessária uma pequena explanação sobre o que é o Ponto *Pivot*. O Ponto *pivot* é nada mais que o ponto de rotação do navio, é sobre esse ponto que toda manobra do navio é feita.

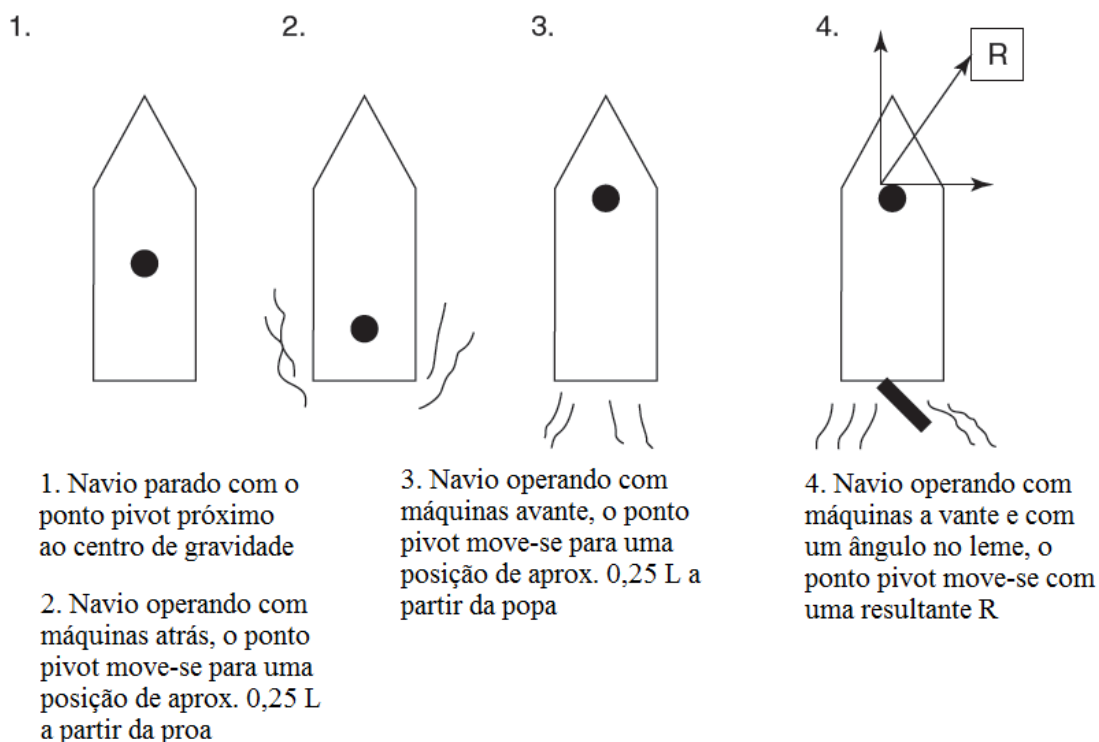
Esta posição, em um navio médio porte, encontra-se acerca do centro gravitacional do navio, que geralmente é quase meia-nau (assumindo que o navio está em águas parêlas e condições de calma)

Enquanto o navio se move para a frente sob a potência do motor, o ponto *pivot* também avança com o impulso na embarcação. Se a água não exercesse resistência no casco o ponto *pivot* assumiria uma posição na região da proa. Contudo, o ponto de articulação se move para uma posição de cerca de 0,25 do comprimento (L) do navio a partir da proa.

Da mesma forma, se o navio é movido à ré, o movimento da popa faz com que o ponto *pivot* move-se para ré e adota uma nova posição aproximadamente 0,25 de comprimento (L) do navio a partir da popa.

Se o movimento de rotação do navio é considerado, com o uso do leme, enquanto que o navio está operando com máquinas avante, pode ser visto que o ponto de articulação irá seguir o arco de rotação.

Figura 1 – Deslocamento do ponto *pivot*



Fonte: Internet

Essa parte é de grande importância na hora da realização de manobras em pequenos espaços ou em emergências, como por exemplo em caso de homem ao mar. Para isso as empresas de construção de propulsores devem se importar não somente com a eficiência destes, mas também com o ponto *pivot*. Assim, respectivamente, o desenho estrutural e o comprimento do navio, o tamanho e a força motriz das máquinas empregadas, equipamento de manobra em conjunto com a velocidade de rotação, a distribuição e estiva de quaisquer cargas, as forças externas que efetuam o ângulo de deriva são relevantes e devem ser vistos como influentes fatores relacionados com uma manobra eficaz do navio. Contudo nesse trabalho veremos apenas a parte de propulsão especial, que será apresentado abaixo.

3 PROPULSORES – UMA VISÃO GERAL

O propulsor é um equipamento usado principalmente em veículos de locomoção, para gerar empuxo. Como exemplo geral, temos embarcações, aviões, helicópteros e foguetes. No setor naval, a propulsão é qualquer meio de produção de energia mecânica que permita o deslocamento da embarcação. Os remos, a vela, o motor a vapor, o motor a diesel, motor elétrico e a turbina a gás são os principais meios de propulsão naval.

Os propulsores foram concebidos para produzir o máximo de eficiência do motor com uma queima de combustível econômica. No entanto, a própria hélice dá origem a um certo efeito de arrasto e terá um *thrust* transversal como um efeito colateral. Um grau de cavitação no lado da frente, ou seja, parte que adentra a água, das lâminas também podem ser esperadas. Tais efeitos podem reduzir continuamente a eficácia da hélice, bem como a eficácia das manobras. Para isso a indústria naval está em um massivo investimento nos propulsores para que o mínimo seja perdido em eficiência

Existem hoje muitos tipos diferentes de sistemas de propulsão em operação. As hélices de passo fixo direito ainda são bastante comuns, mas a evolução das hélices de passo controlável, hélices de contra rotação, propulsor com duplo-hélice, unidades pod de propulsão, sistemas dotados de tubo Kort e sistemas Azipod, tomaram conta do mercado tanto na construção de navios mercantes quanto de navios de guerra.

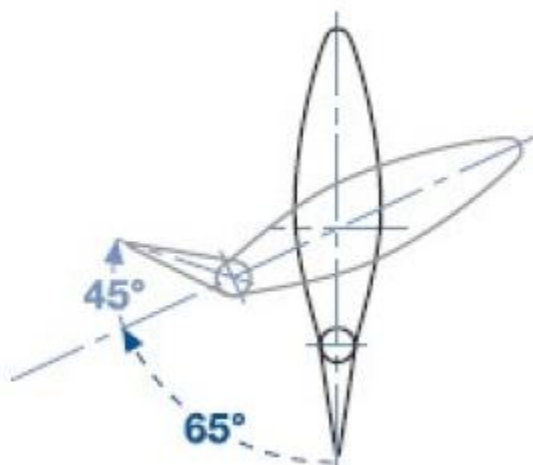
Vantagens distintas com cada sistema são defendidas pelos diferentes fabricantes, mas, geralmente, o desempenho no que diz respeito à concepção do design dos navios e a função destes, confere uma escolha específica do sistema que será utilizado.

4 EMBARCAÇÕES DOTADAS DE PROPULSORES CONVENCIONAIS

Mesmo com o advento de novos propulsores, os rebocadores utilizando propulsores convencionais ainda são amplamente utilizados em manobras portuárias. Diferentemente dos rebocadores com propulsão especial, os rebocadores convencionais precisam, para realizar suas manobras, de lemes com um certo diferencial. Há vários sistemas de lemes em uso atualmente, cada qual com sua própria característica, como:

Lemes com flap móveis (*Becker*): Nesta categoria no fim da lâmina do leme localiza-se um flap móvel, que representa de 20 a 30% da área total do leme. É capaz de gerar um ângulo de leme de 40 a 50°. Além de aumentar o ângulo de leme, outra função do flap é aumentar a força de sustentação, o que, em números, representa um ganho entre 60 e 70% se comparado com lemes convencionais de mesmo formato, tamanho e área. Lemes com flap tem maior manobrabilidade, tendo grande resposta do aparelho de governo.

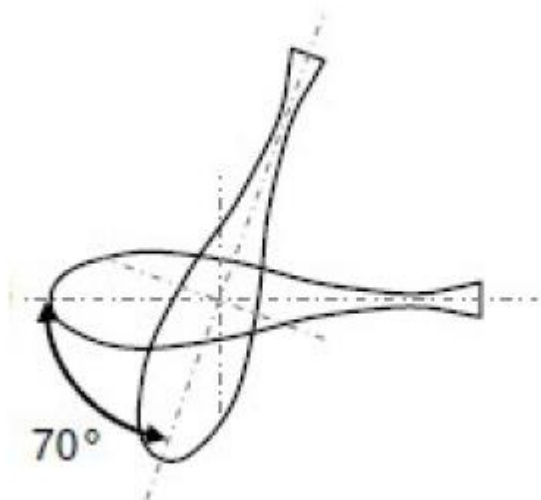
Figura 2 – Leme com flap



Fonte: <http://www.ipen.org.br/Artigos-congresso23-Sobena/SOBENA2010-123.pdf>

Lemes *Schilling*: Encontrados em novas embarcações, não possuem partes móveis, porém apresentam placas-guia (*end-plates*) nas partes inferior e superior do leme, a fim de se aperfeiçoar o fluxo nos bordos, evitando vórtices. Esse tipo de leme possui uma grande força de sustentação devido ao *fishtail* no fim da lâmina do leme. Sua força de sustentação é aumentada de 30 a 40% quando comparado a lemes convencionais, e para uma sustentação máxima, o ângulo de leme é de aproximadamente 40° . Seu alcance angular máximo, no entanto, é muito superior, chegando a 70° . Com máquinas atrás seu desempenho também é superior ao de lemes convencionais.

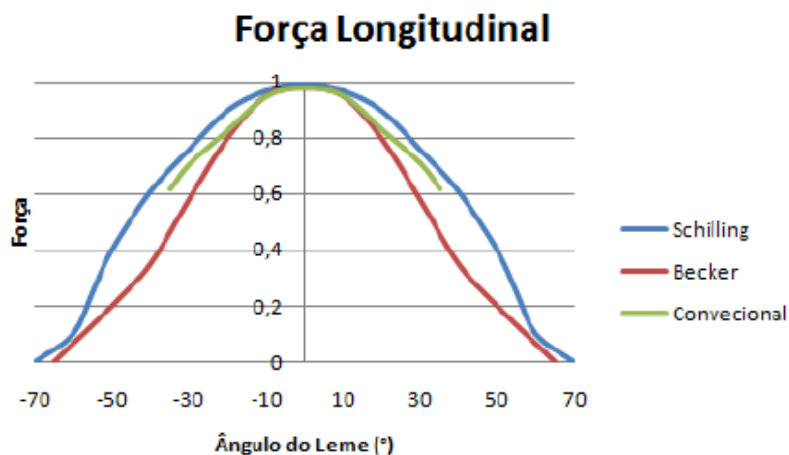
Figura 3 – Leme Schilling



Fonte: Fonte: <http://www.ipen.org.br/Artigos-congresso23-Sobena/SOBENA2010-123.pdf>

O gráfico abaixo, compara o desempenho de um leme convencional, um leme com flap (*Becker*) e um leme tipo *Schilling*. Pode ser visto que os dois últimos possuem um desempenho melhor. O ângulo de *stall* é maior, fazendo, assim, que a força lateral também seja maior, sendo, então, conhecidos como lemes de alto desempenho.

Figura 4 – Comparação entre desempenho de um leme convencional, um leme com flap (*Becker*) e um leme tipo *Schilling*



Fonte: Fonte: <http://www.ipen.org.br/Artigos-congresso23-Sobena/SOBENA2010-123.pdf>

4.1 Manobra utilizando propulsores convencionais

Rebocadores dotados de propulsores convencionais são empregáveis, em teoria, para todos os métodos de assistência, mas não são igualmente apropriados para todos os métodos. Ao se elaborar o reboque de um navio em movimento, um rebocador convencional é eficiente quando escolta em linha. No entanto, como rebocador de popa, devido à localidade do ponto de atuação, o rebocador possui várias limitações. Quando o navio em questão está a uma velocidade maior que três nós, o rebocador em sua popa pode somente assisti-lo por um de seus bordos e não pode trocar de bordo posteriormente ou controlar a velocidade do navio. Devido ao ponto de atuação ser a meio navio, há um risco de emborcamento do rebocador

Mudar do modo *pull* para o modo *push* poderia ser possível, porém apenas caso empurrassem com sua popa. Entretanto essa manobra não é aconselhada, pois não só a mudança de extremidade operante já constitui uma tarefa árdua por si só, mas também empurrar com a popa apresenta novos problemas, como o fato de a descarga do propulsor do rebocador atingir as obras-vivas do navio, tornando-o menos eficiente, e o fato de as defensas de popa não serem adequadas para empurrar. Nesse caso, seria recomendável soltar o cabo, para só então empurrar o navio.

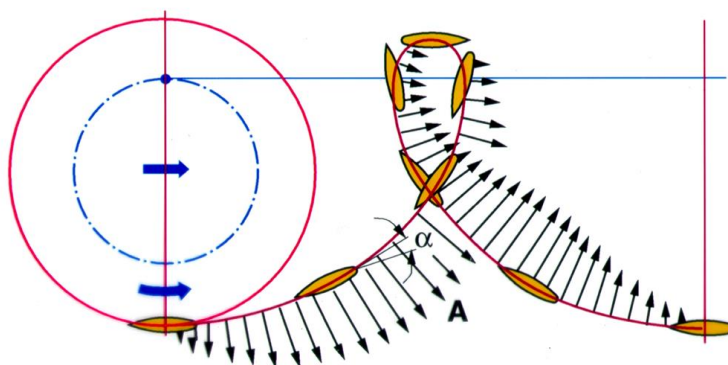
Rebocadores convencionais de eixo simples não podem puxar o navio a um ângulo adequado não somente devido ao efeito transversal do propulsor, mas também devido a correntes ou ventos. O mesmo problema surge quando o navio rebocado está se movendo com seguimento a vante ou a ré enquanto os rebocadores o estão puxando. Após certo momento, torna-se impossível continuar empurrando a ângulos adequados.

5 PROPULSOR CICLOIDAL (VOITH SCHNEIDER)

O propulsor cicloidal Voith Schneider é uma unidade propulsora marítima, extremamente manobrável, sendo capaz de mudar o rumo de seu impulso quase que instantaneamente, podendo ser dirigida em qualquer direção. Essas unidades estão se tornando cada vez mais comuns em barcos de trabalho, tais como rebocadores, balsas e *fireboats*, onde manobras rápidas são requeridas.

O Voith Schneider consiste em um tipo de propulsor de passo variável com pás verticais fixados a discos paralelos ao fundo do navio. O disco gira em velocidade baixa e constante, produzindo um *thruster*, e cada pá roda em torno de um eixo vertical. A imagem abaixo mostra o caminho de um perfil Voith através da água. Os perfis descrevem um movimento cicloidal. Por isso, o propulsor Voith é por vezes também referido como hélice cicloidal.

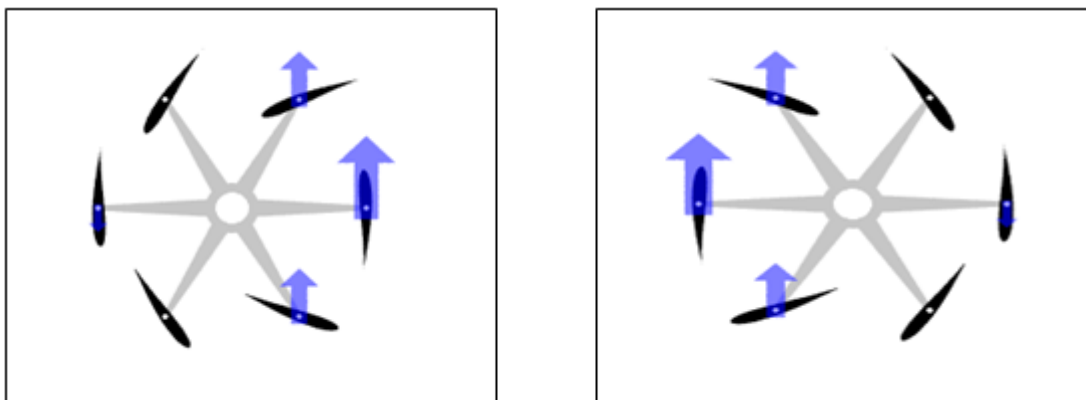
Figura 5 – Caminho de um perfil Voith através da água



Fonte: CFD applications at Voith Turbo Marine.

Sendo assim, para um navio dotado de um propulsor cicloidal Voith Schneider conduzir-se requer apenas alteração do padrão de orientação dessas pás. Como pode ser visto na imagem abaixo.

Figura 6 – Alteração da orientação das pás do propulsor cicloidal mudando a direção do *thruster*



Fonte: CFD applications at Voith Turbo Marine.

5.1 Manobra utilizando Propulsor Cicloidal (Voith Schneider) em rebocadores

As operações de assistência de navios por rebocadores necessitam de excelente custo benefício, controle de guinada e confiabilidade, pensando nisso a Voith lançou o *Voith Water Tractor (VWT)* que é uma embarcação de conceito único e muito seguro. O eixo vertical de suas hélices, a placa de guarda e o estabilizador localizado a ré em forma de *fishtail* faz do VWT uma embarcação em condições de navegar. A posição das hélices em relação ao ponto de reboque assegura uma força de equilíbrio estável e, por conseguinte, uma elevada segurança durante a assistência navio.

O *skeg* adicionado ao design da embarcação é um importante contribuinte para a geração de forças de direção muito elevadas, garantindo uma boa estabilidade e movendo o centro de pressão hidrodinâmica mais para ré da embarcação. Com o tempo, percebeu-se que a adição de um cilindro rotativo no estabilizador melhoraria o fluxo de água e a adição de *End-plates* no *skeg* evitaria os vórtices neste. Além disso a placa de guarda foi idealizada de forma a possuir um desenho similar à de uma asa proporcionando um maior *lift* enquanto a

abertura na placa proporciona um *bollard pull* adicional, mas também reduzindo a carga sobre os propulsores.

O guincho de reboque localiza-se a ré do rebocador, logo o ponto de atuação, por onde é passado o cabo de reboque, situa-se próximo da popa e, geralmente, acima do centro do *skeg*.

Figura 7 – Voith water tractor



Fonte: Filme Azimuth Stern Drive, DAMEN SHIPYARDS

Os rebocadores que possuem propulsores cicloidais têm um alto desempenho com máquina atrás, diferentemente dos rebocadores convencionais, podendo navegar em linha reta e em alta velocidade, tendo assim uma tração praticamente igual à alcançada no regime de máquinas adiante. Por ser possível aplicação de thruster lateral, rebocadores dotados de propulsores Voith Schneider, são mais seguros na aproximação rápida a proa de um navio, podendo, também, compensar de maneira mais eficiente as forças de interação navio-rebocador.

Durante as operações de assistência de navios, o VWT age como se fosse um leme externo, proporcionando, assim, uma maior manobrabilidade. Em operações do tipo *push-pull*, os rebocadores VS possuem uma vantagem em comparação aos rebocadores convencionais, pois estes têm grande força com um regime de máquinas atrás e por serem capazes de puxar em angulações

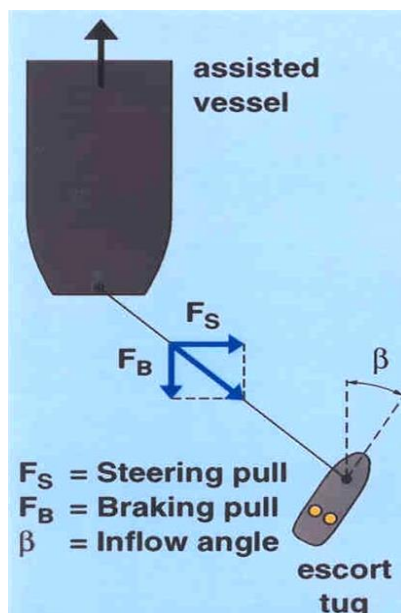
adequadas. Enquanto reboca em linha, um rebocador VS pode mudar para uma manobra de empurre sem a necessidade de soltar o cabo de reboque, o que o torna muito versátil enquanto se aproxima do berço. Essa mudança pode ser feita até uma velocidade do navio de 2 nós, o que é satisfatoriamente grande, visto que o navio tende ao repouso imediatamente antes que comece a empurrá-lo de encontro ao cais.

Com o propósito de evitar sobrecarregar as máquinas, os passos longitudinais máximos quando o rebocador empurra no costado utiliza-se de um nível, das máquinas, de 90% da força total, enquanto para rebocar ou puxar no costado utiliza-se um nível de 80%

Os VWT são utilizados para o reboque em linha para operações do tipo push-pull.

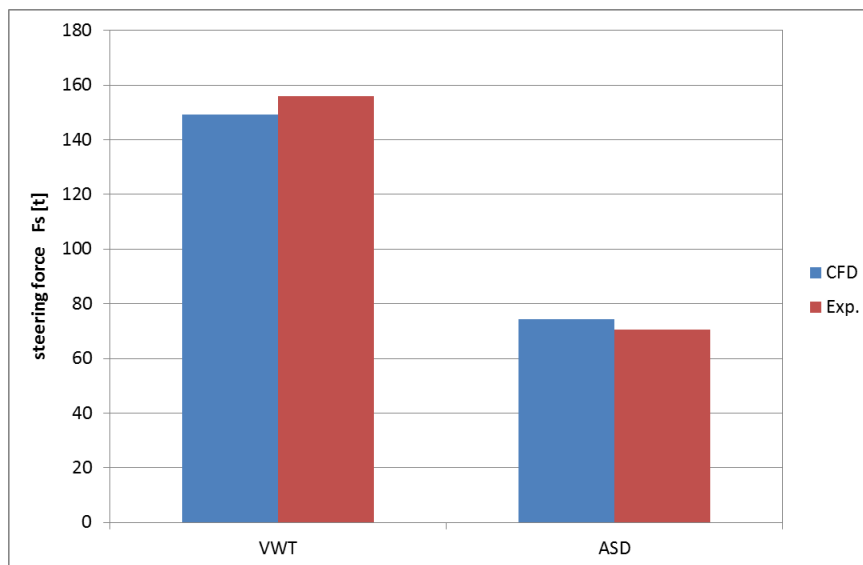
Na figura abaixo pode ser visto as forças aplicadas no cabo de reboque quando o rebocador está assistindo o navio. O *steering pull* é a força de guinada aplicada ao cabo, o *braking pull* é a força de frenagem, enquanto o *inflow angle* é ângulo determinado pelo rebocador.

Figura 8 – Forças aplicadas no cabo de reboque



Fonte: CFD applications at Voith Turbo Marine.

Figura 9 – Comparação entre a força de guinada de um Voith water tractor e um Azimuth Stern Drive



Fonte: CFD applications at Voith Turbo Marine.

Figura 10 – Voith Water Tractor rebocando em linha



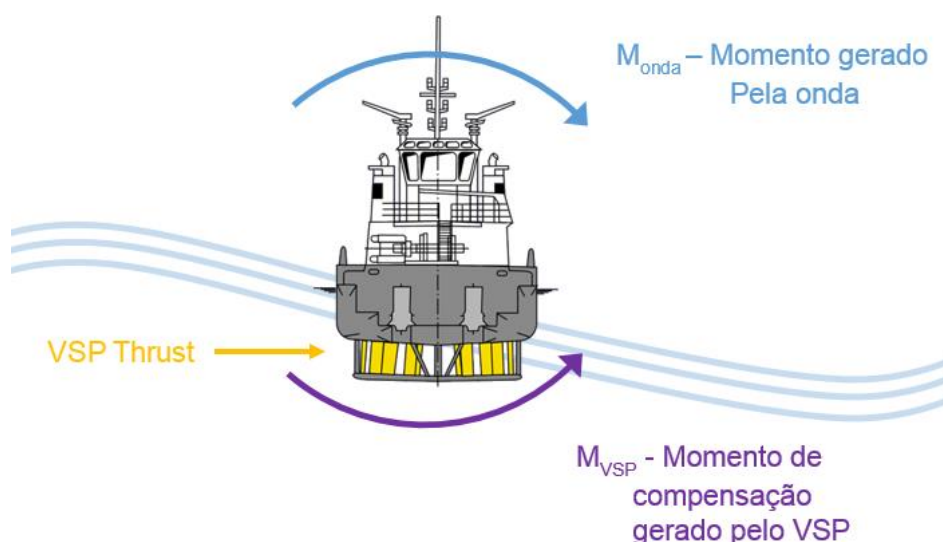
Fonte: Internet

5.2 Manobra de compensação do balanço

Em águas abrigadas o navio é muito afetado pelas condições climáticas, pois esta influencia diretamente no estado do mar. Com o advento dos VSP foi notado que este tipo de propulsor além de gerar forças de impulso para frente e para manobrar, eles também ajudam na redução de movimentos ondulantes, como o balanço.

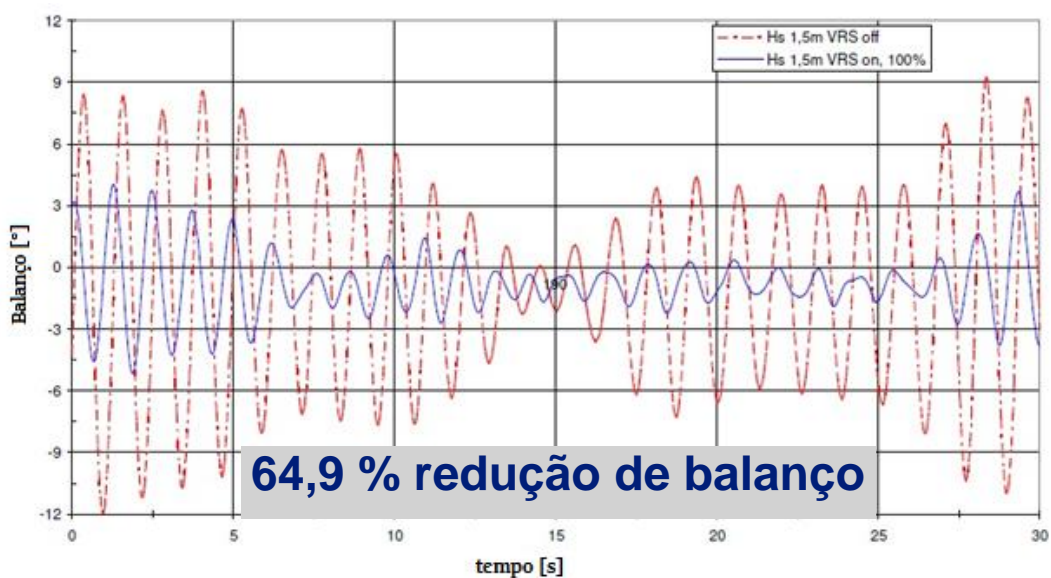
O estabilizador de balanço da Voith reduz significativamente os movimentos ondulantes de navios durante a navegação, também nas operações que exijam posicionamento dinâmico (DP) e mesmo quando estiver parado. O impulso rapidamente ajustável permite compensar o momento das ondas. Devido a suas características, esse propulsor permite um controle rápido e contínuo do impulso em magnitude e direção. Este recurso funciona de modo que no momento em que inicia o balanço este é parcialmente equilibrado pelo impulso transversal gerado pelo propulsor. Como a magnitude do impulso do “VSP” é igual em todas as direções para a velocidade de avanço igual a zero um momento de neutralização pode ser gerado por “thrust” laterais.

Figura 11 – Compensação de balanço



Nos testes realizados no laboratório marinho holandês da MARIN com velocidade de avanço igual a zero, notou-se que uma redução de balanço de quase 65% foi alcançada por um iate 40 m, a uma altura de onda de 1,5 m devido ao uso do Estabilizador de balanço Voith (VRS) . Cada um dos dois VSPs tinha uma potência de entrada de apenas 30 kW. Quando o "VRS" está desligado as pás estão girando com zero de excentricidade. Já quando o "VRS" está ligado o Voith Schneider gera "thrust" lateral alternado para contrariar o movimento de balanço. Atualmente, o "Voith-Roll-Stabilization" é implementado com sucesso em diferentes embarcações de apoio offshore.

Figura 12 – Redução de balanço



Fonte: CFD applications at Voith Turbo Marine.

6 PROPULSORES AZIMUTAIS

O propulsor azimutal é um tipo de propulsor que foi criado para permitir uma maior autonomia em relação ao eixo propulsor, economizando espaço no interior do casco e, por conseguinte, tendo uma maior disponibilidade para custos suplementares de transporte ou alojamento dos passageiros/tripulantes. Com uma melhor capacidade de manobra, mesmo em locais de espaço restrito, do que um sistema de hélice e leme fixo, esse tipo de propulsor é também conhecido como o propulsor do futuro.

Outras vantagens são: os baixos níveis de ruído e baixa vibração dentro do navio; eficiência do combustível com emissões reduzidas; além das operações de manutenção mais simples para o serviço ou em caso de mau funcionamento (os pods são facilmente removidos e trocados)

Este propulsor, que converte a potência do motor em um pulso otimizado, é uma configuração de hélices marítimas colocadas em pods submersos fora do casco do navio que podem ser giradas para qualquer ângulo horizontal (azimute), ou seja, gira 360°, tornando desnecessário o uso de um leme. A direção da linha de eixo é adquirida a partir de uma unidade de direção hidráulica dando a versatilidade de impulso direcional para bombordo e boreste, bem como à frente ou à ré. Podendo ser de passo fixo ou variável, esses propulsores, são de maioria passo fixo dotados de uma embreagem moduladora de velocidade, permitindo que esta seja controlada de forma constante.

Figura 13 – Exemplo de propulsor azimuthal



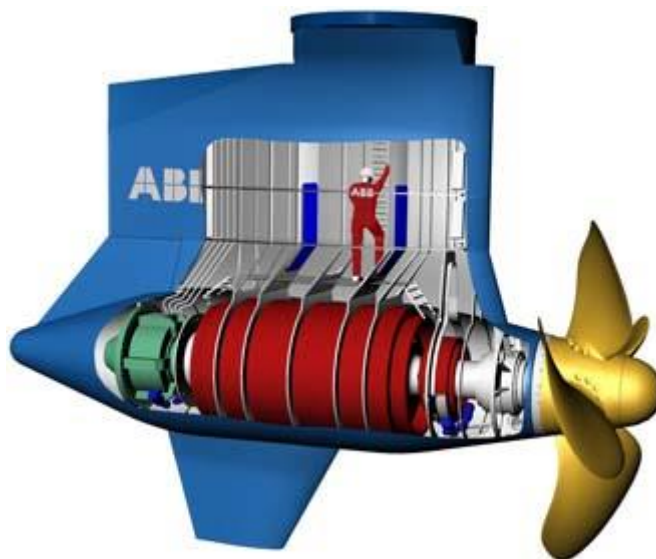
Fonte: Internet

O advento de propulsores azimuthais permitiu que as embarcações ganhassem agilidade sem prejuízo da sua potência na utilização em manobras e no posicionamento dinâmico, tanto do navio quanto de plataforma. Variedades de desenhos de pods estão entrando rapidamente no mercado comercial apoiado por novas ideias associadas para melhorar a eficiência de combustível e fornecer um melhor desempenho.

6.1 Em relação a localização do motor, são divididos em dois tipos:

6.1.1 Transmissão elétrica:

O hélice é conectado diretamente a um motor elétrico, sem que haja a necessidade de engrenagens. A energia elétrica é gerada a bordo por um grupo de geradores a turbina a gás ou a diesel. O motor fica localizado junto ao hélice fora do casco da embarcação. Permitindo assim um menor tempo de docagem. Esse propulsor, especificamente, recebeu o nome de Azipod.

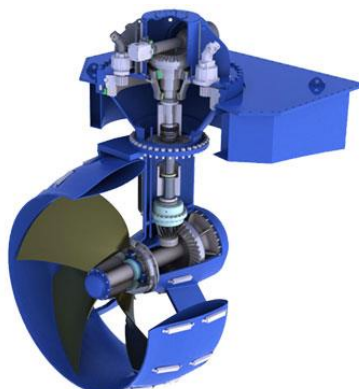
Figura 14 – Azipod

Fonte: Internet

6.1.2 Transmissão mecânica:

O hélice é conectado a um motor elétrico ou a diesel que fica no interior da embarcação através de eixos e caixas de engrenagem.

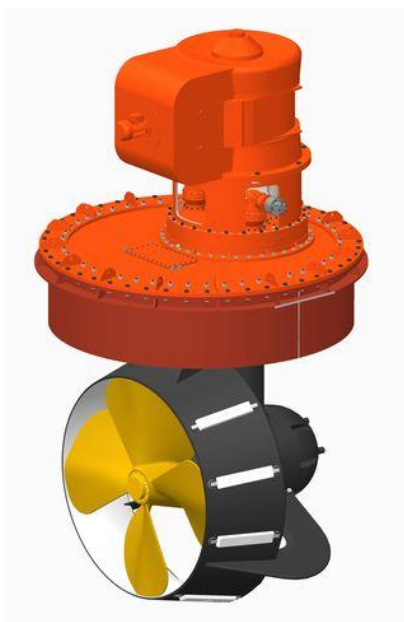
O sistema é denominado Z-drive quando o motor encontra-se na horizontal e há duas caixas de engrenagens. O eixo de rotação do propulsor realiza duas voltas em ângulo reto, semelhante a letra “Z”, por esse motivo recebe este nome. Com relação à transmissão de potência o Z-drive mais fácil de manipular e fazer manutenção, entretanto com uma maior perda energética.

Figura 15 – Exemplo de um Z-drive

Fonte: Internet

Já o sistema é denominado L-drive quando o motor se encontra instalado verticalmente e existe apenas uma caixa de engrenagens. O eixo de rotação do motor realiza apenas um giro em ângulo reto, semelhante a letra “L”, recebendo assim este nome. Por possuir apenas uma caixa de engrenagem, há menos perdas energéticas.

Figura 16 – L-drive



Fonte: Internet

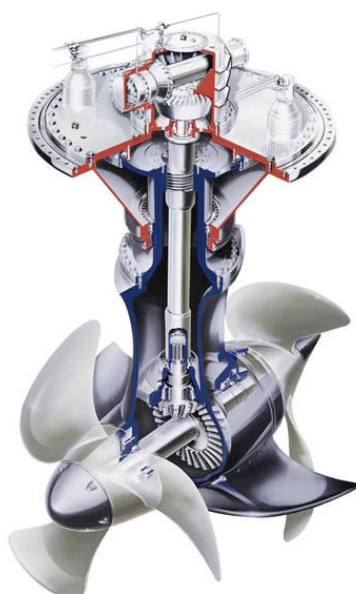
6.2 Twin propeller

Este propulsor é constituído de dois hélices (um à vante e outro à ré do eixo vertical) que possuem o mesmo sentido de rotação e podem ser rotacionados 360° independentemente. O Twin propeller funciona com um hélice frontal que ‘puxa’ a água para o outra hélice e um hélice de pressão. Eles estão dispostos entre si de tal maneira que a esteira de turbulência do hélice frontal passa por entre as pás do hélice de pressão posterior, sem interrompe-lo. Através da contração do jato propulsor no hélice frontal, água adicional atinge lateralmente o hélice de pressão proporcionando um aumento da potência.

Otimizado com um sistema difusor integrado (aletas), as descargas rotacionais originadas no primeiro propulsor são redirecionadas para que possam servir com maior eficiência no segundo propulsor. Suas pás têm um diâmetro

menor, logo a cavitação e a ventilação também são reduzidas, além de facilitar o acesso onde o calado é reduzido. Outra vantagem é a alta confiabilidade devido à construção simples com poucas peças móveis, redução do diâmetro do hélice, baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção. Com 20% a mais de eficiência propulsiva comparado a propulsores comuns, esses propulsores são ideais para médias velocidades, como objetivo principal dividir os esforços, aumentando assim a eficiência e diminuindo consideravelmente os ruídos e a vibração.

Figura 17 – Twin propeller



Fonte: <http://www.schottel.de/pt/propulsao-maritima/twin-propeller>

6.3 Propulsor azimuthal contra-rotativo

Constitui-se de dois hélices localizados ambos à ré do eixo vertical que giram em sentido contrário um do outro. O principal objetivo é fazer com que o propulsor de ré reaproveite as perdas energéticas e rotacionais do propulsor de vante, tendo o conjunto uma maior eficiência e faz, também, que não produzam forças laterais.

Desta forma, as instalações para a geração de energia são menores, reduzindo o consumo de combustível e economizando espaço. Outra vantagem é a redução de cerca de 20% do diâmetro das pás em relação aos propulsores de um hélice, reduzindo a cavitação, a ventilação e o ruído. Entretanto tem a desvantagem da instalação mecânica de eixos coaxiais de contra rotação ser complicada, cara e requerer mais manutenção.

Uma outra opção é o sistema contra rotativo com eixos independentes que pode ser obtida combinando um propulsor tipo azipod, operando frente a um propulsor convencional. No momento que o navio está navegando, utiliza-se dos dois propulsores no sentido do eixo do navio, já no momento de manobrar, o operador rotaciona o azimutal. Esse tipo de propulsão elimina problemas de perdas mecânicas nos eixos, entretanto possui uma manutenção cara.

Figura 18 – Propulsor azimutal contra rotativo



Fonte: Internet

6.4 Propulsor Azimutal Rebatível

Este propulsor funciona como um azimutal qualquer, sendo projetado para desenvolver um máximo “bollard pull” nas condições de manobra, além de auxiliar no posicionamento dinâmico. Mas sua principal característica é a capacidade de ser “rebatido” para um espaço localizado na parte inferior do casco quando sua utilização como “thruster azimutal” não é requerida. Com isso, não ultrapassa a linha da quilha, configurando uma importante ferramenta para aqueles navios que necessitem de alta tração e porventura precisem navegar em águas rasa. Vem sendo utilizado principalmente em navios-tanque, navios de carga, navios de navegação polar, navios de apoio marítimo e portuário e navios de perfuração.

Além disso, em alguns casos podem ser utilizados como tunnel thrusters quando estiverem rebatidos, aumentando também a manobrabilidade em águas rasas.

Figura 19 – Propulsor azimutal rebatível



Fonte: Internet

6.5 Propulsor Azimutal Retrátil

Às vezes são necessários propulsores abaixo do casco, o que pode interferir com as operações em portos ou outras aplicações. Para esta área de aplicação, SCHOTTEL desenvolveu azimutais retráteis hidráulicamente. Estes são recolhido para dentro do casco para o serviço em águas abertas e reduzido para manobras e posicionamento dinâmico no local de operação.

Com a característica de se inserir dentro do casco, este propulsor é arriado e suspenso por um potente dispositivo hidráulico, oferecendo rapidez e dinamismo ao processo. Diferentemente do Azimutal Rebatível, o movimento é exclusivamente vertical.

Figura 20 – Propulsor azimuthal retrátil



Fonte: Internet

6.6 Utilização de propulsores azimuthais em plataformas

O uso de propulsores azimuthais não está restrito aos navios, existe uma ampla utilização destes em plataformas semissubmersíveis. Os propulsores são localizados nos *pontoons*¹, ou submarinos, da plataforma. Podendo girar 360° esses propulsores facilitam na movimentação das plataformas ou na manutenção de sua posição (DP).

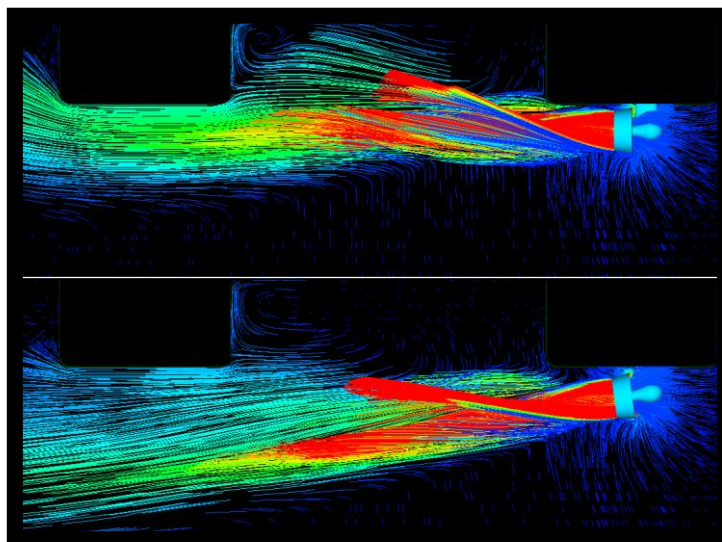
No início de sua utilização os propulsores eram fixados de maneira ao seu fluxo ficar na horizontal o máximo possível, entretanto percebeu-se que acabava ocorrendo o efeito coanda² quando, por necessidade, a plataforma tinha que dar um thrust pelo seu través, ou seja, em direção ao *pontoon* oposto. Esse efeito fazia com que o thrust fosse reduzido. Modelos utilizando análise CFD (*Computational Fluid Dynamics*) e em tanques de prova com modelo mostraram que estas perdas podem ser tão alta quanto 46% do impulso total produzido pelo propulsor.

¹ Pontoon – Instalação submarina utilizada numa plataforma semissubmersível com o intuito de manter a estabilidade desta.

² Efeito coanda - é o fenômeno em que um fluxo de jato tende a permanecer unido a uma superfície próxima e permanece ligado mesmo quando a curva da superfície está longe da direção do jato inicial

Através dessa análise descobriu-se que, quando a corrente de jato é direcionada a um ângulo superior a sete graus de distância do chapeamento do casco, eles tendem a juntar-se ao chapeamento do casco. O jato irá separar-se completamente a partir do casco e continuará a afastar-se dela. Com base nesse conhecimento, foram desenvolvidos propulsores azimutais com um ângulo de impulso para baixo no mínimo oito graus. Estes propulsores usam engrenagens noventa e oito graus em vez das convencionais engrenagens noventa graus. Isto elimina as perdas de impulso descritas anteriormente.

Figura 21 – Fluxo do propulsor em um ângulo de inclinação de 0° e 8°



Fonte: Internet

6.7 Manobra utilizando propulsores azimutais

Apropriados para fornecer o “Thrust” em qualquer azimute esse tipo de propulsor possui duas manobras bem específicas quando instalados em rebocadores, são elas: arrasto transversal utilizando Azimuth Stern Drive e o arrasto transversal utilizando rotor tug.

O arrasto transversal é uma técnica utilizada para auxiliar navios em suas manobras, quando, por exemplo, é necessário quebrar o segmento de um navio. Veremos abaixo as duas maneiras como pode ser feito o arrasto transversal.

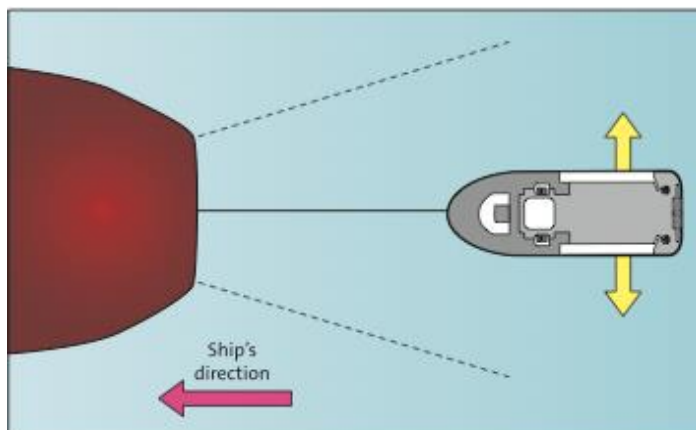
6.7.1 Arrasto transversal utilizando Azimuth Stern Drive

Em 1992 foi criado um novo tipo de rebocador pela empresa Deman, rebocador do tipo trator reverso (ASD) desenhado para otimizar a manobrabilidade, ter um fácil manuseio e um baixo custo de manutenção. Rebocadores ASD possui um formato que eles podem operar tanto quanto um rebocador trator-reverso quanto como um rebocador convencional, tornando-se, portanto, muito versátil.

Esse rebocador provê baixo ruído, baixa vibração com excelente controle em mar grosso. Confiáveis os ASD estarão sempre prontos para fazer o trabalho. Com propulsores azimutais na popa, que podem ser controlados individualmente, esses propulsores tem a capacidade de girar 180° em 12 segundos.

Os Propulsores não são a única chave do sucesso desses rebocadores. Todos os rebocadores ASD possuem um desenho com um skeg, que dá a embarcação uma boa estabilidade e uma melhor performance de bollard pull, com máquinas avante ou a ré, e uma excelente manobrabilidade. Rebocadores ASD podem gerar tração em qualquer direção, embora a tração máxima com máquinas atrás seja de 5 a 10% menor do que com máquinas adiante. As características dessa embarcação são combinadas de forma a possuir uma excelente resposta tanto em altas velocidades quanto em baixas.

Muito utilizada em emergência à alta velocidade, que é mais seguro do que inverter a propulsão à toda força, o que pode danificar os propulsores. Essa prática é inicialmente usada para reduzir a velocidade e a energia do navio para uma mais manejáveis. Utiliza-se de meia força, entretanto em situações de colisão iminente, é usada força total. Para isso o rebocador é posicionado a ré e orienta os propulsores azimutais a 90° direcionando o fluxo de água para ambos os bordos. Exercendo uma potência sobre os propulsores o rebocador cria uma tensão sobre os cabos e acaba funcionando como uma grande âncora flutuante.

Figura 22 – Arrasto transverso

Fonte: Internet

A partir de estudos foi observado que o uso de arrasto transverso aumentou 1,6 vezes o bollard pull, que é a medida em toneladas da capacidade de reboque, de rebocadores a 10 nós. Entretanto quando há uma diminuição da velocidade, há também uma diminuição da força retardadora. Quando a velocidade inferior é atingida, em média uma velocidade de 4 nós, gradativamente os propulsores são direcionados a posição de 180°, procedendo a manobra normalmente.

6.7.2 Arrasto transverso utilizando rotor tug

Da mesma maneira que o arrasto transverso utilizando Azimuth Stern Drive, essa técnica é utilizada para quebrar a guinada de um navio. Esse tipo de rebocador apresenta três propulsores azimutais instalados na popa, e então a maneira de executar o arrasto transverso é diferente.

Figura 23 – Exemplo de *rotor tug*

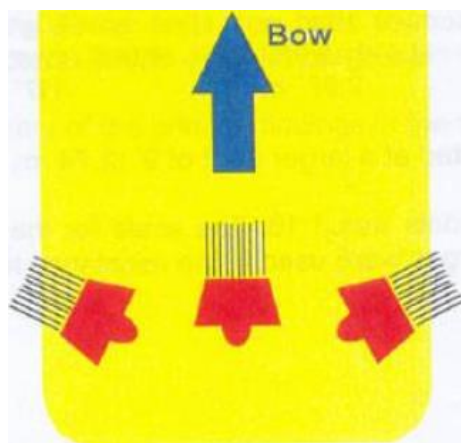


Fonte: Internet

Esse tipo de embarcação possui algumas características bem específicas, tais como: Placas de proteção e pés de galinha utilizados como proteção dos propulsores e com o intuito de facilitar a docagem; Pequenas aletas colocadas na popa com a finalidade de proporcionar estabilidade de curso; Três propulsores azimutais com tração total na ordem de 75 toneladas; e um das características mais importantes é a criação de um skeg dinâmico, criado pelo propulsor azimutal colocado na linha central.

A manobra é feita basicamente por um jeito melhor de freiar a embarcação que deseja. Constitui-se, então, do posicionamento dos propulsores laterais em um ângulo de aproximadamente 105° e o central num ângulo de 180° tendo como referência a posição inicial dos propulsores azimutais. Os propulsores, são também, ligeiramente inclinados para baixo, fazendo com que assim tenha um maior aproveitamento da rotação das pás e uma menor possibilidade de que ocorra cavitação. A medida que há uma desaceleração do navio os propulsores devem ser progressivamente posicionados a 180° . De acordo com estudos, essa prática tem provado ser um meio muito eficaz para frear a embarcação escoltada.

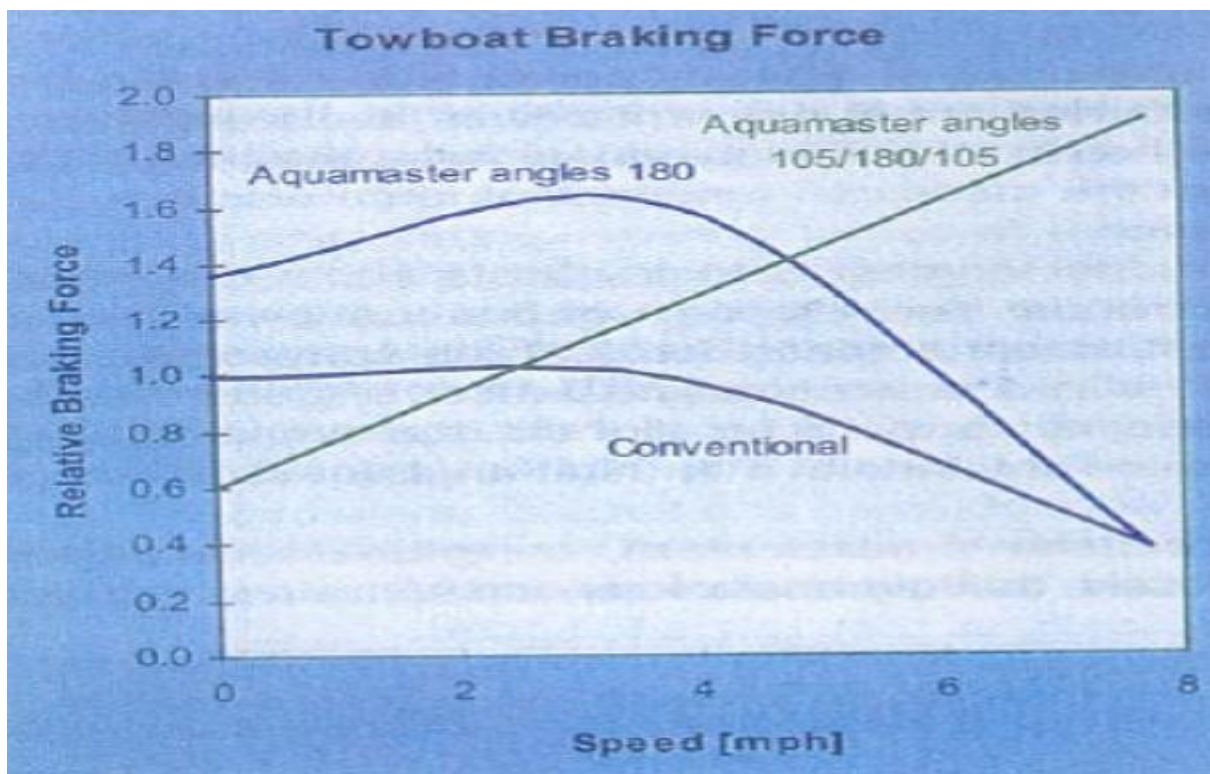
Figura 24 – Posicionamento dos propulsores azimutais no rotor *tug*



Fonte: Internet

Abaixo podemos ver um gráfico comparativo entre a utilização de rebocadores convencionais, Aquamaster com os propulsores em um ângulo de 180° e Aquamaster com os propulsores em ângulos de $105^\circ/180^\circ/105^\circ$. Nota-se que para os rebocadores convencionais e Aquamaster com um ângulo de 180° há um declínio da força de frenagem conforme aumenta a velocidade, já para um Aquamaster com os propulsores em ângulos de $105^\circ/180^\circ/105^\circ$ a força não diminui com a velocidade, mostrando, assim a eficiência da utilização desse tipo de manobra.

Figura 25 – Gráfico comparativo rebocador convencional e Aquamaster



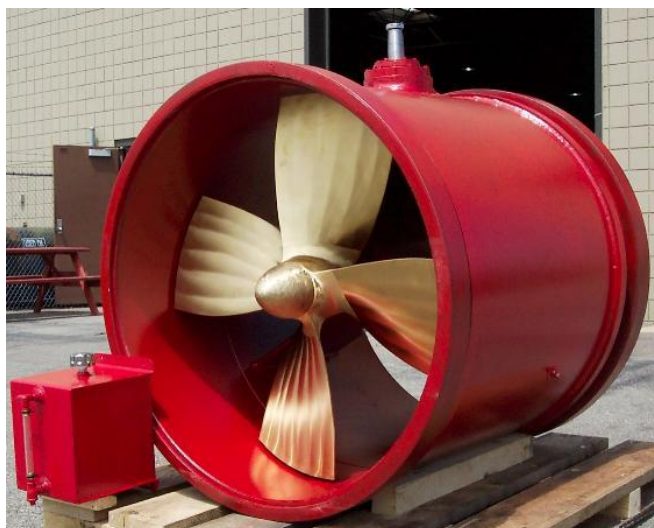
Fonte: Internet

7 PROPULSORES TRANSVERSAIS

Os propulsores transversais, também conhecidos como *tunnel thrusters*, são propulsores usados para desenvolver thrust lateral sob condições de carga extrema exigentes em operações que demandam posicionamento dinâmico, situações em que é exigido giro de emergência, em manobras em baixa velocidade, em operações de atracação ou muitas vezes substituindo um rebocador empurrador na proa do navio. Muito usado em navios de cruzeiro, devido ao conforto proporcionado aos passageiros e tripulantes, eles geralmente são elétricos, o que permite uma ação rápida, podendo ser parado e até mesmo invertido o sentido de rotação, se necessário, com grande agilidade.

Quando instalados na proa recebem o nome de Bow thrusters e quando na popa de Stern Thrusters, devendo ter hélices de passo constante, de maneira a atuar com a mesma eficiência para ambos os bordos. Os thrusters, tanto de vante quanto o de ré, são colocados o mais afastado possível de maneira a aumentar o momento do navio e, conseqüentemente, serem mais eficazes.

Figura 26 – Propulsor transversal



Fonte: Internet

Os navios que são dotados com esse tipo de propulsor possuem uma marca no costado na altura do propulsor transversal, mais especificamente nas obras mortas, indicando a existência dele.

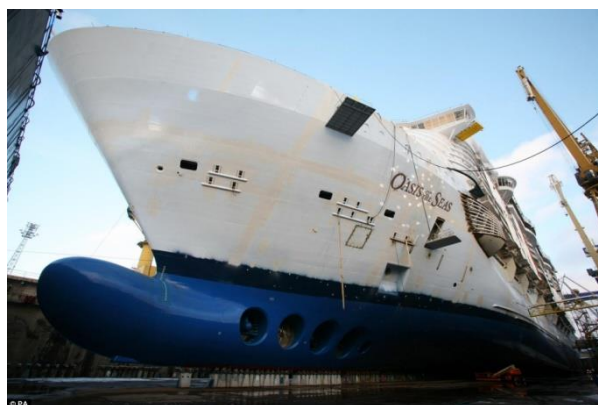
Figura 27 – Símbolo de localização do propulsor transversal na proa



Fonte: Internet

Esse dispositivo de controle consiste, geralmente, de unidade propulsora com túnel, podendo ser tanto com hélices de passo variável quanto de passo fixo, equipamento hidráulico, motor elétrico e controladores a distância. Um importante parâmetro a ser considerado é a folga entre o hélice e o túnel, que chega a ser menor que 1 cm. Quanto menor a folga, menor é a passagem de água da região de maior pressão para a região de menor pressão das pás. Com isso, evita-se a vaporização da água, diminuindo a cavitação e conseqüentemente os ruídos.

Figura 28 – Propulsor transversal na proa



Fonte: Internet

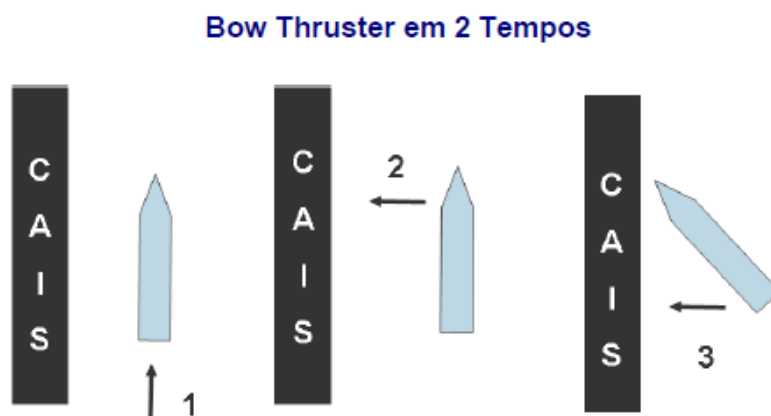
7.1 Manobra utilizando propulsores transversais

Na atracação e desatracação, os propulsores transversais podem auxiliar de maneira a criar um thrust desenvolvendo segmento transversal do navio, deste modo substituindo a utilização de rebocadores, representando uma elevada economia para os que operam comercialmente os navios.

Sendo a embarcação dotada de Thrusters avante e a ré, não haverá a necessidade de aproximação oblíqua em relação ao cais. Podendo assim ser feita em dois passos:

1. Primeiramente uma aproximação paralela ao cais;
2. Depois de aproximado, faz-se um giro para aproximar a proa, após passar a espia na proa, procede-se a aproximação da popa.

Figura 29 – Manobra em dois tempos utilizando *bow thruster*

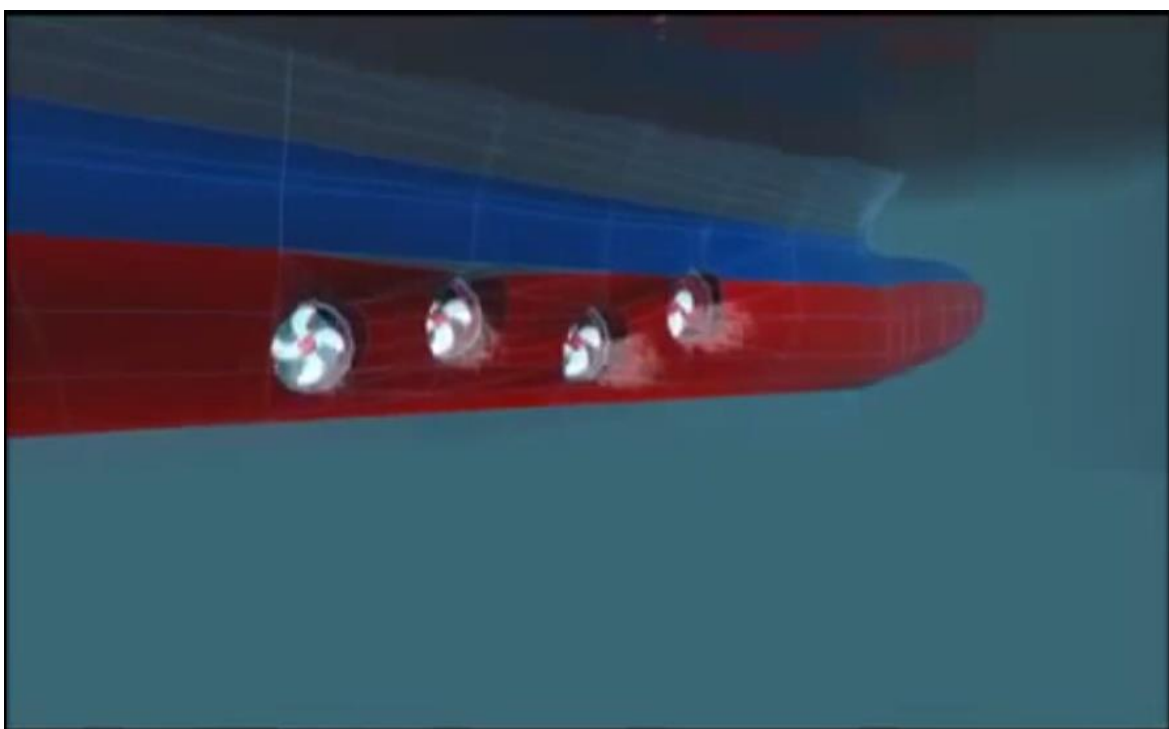


Fonte: Livro Manobra

Apesar de serem extremamente úteis e ajudarem de maneira eficaz na manobra do navio, os propulsores transversais também têm suas restrições. O maior exemplo disso é a considerável perda de eficácia diante do aumento de velocidade da embarcação, essa eficácia dos propulsores transversais vai até uma velocidade de avanço de 4 nós, não tendo praticamente uso algum em velocidades acima dessa. Para isso em casos de atracação e desatracação utilizando tunnel thrusters, deve-se atentar para a velocidade de avanço da embarcação, de maneira a ter uma maior aplicabilidade do recurso e evitar o efeito coanda.

Pode-se, então, concluir que os sistemas de propulsor transversal são muito aplicados nos navios, pois facilitam as manobras, trazendo segurança, além de ganho financeiro, já que podem dispensar rebocadores, entretanto não substituem totalmente os rebocadores, apesar de serem extremamente proveitosos em manobras que necessitam de aproximação lateral, como atracação e desatracação.

Figura 30 – Propulsor transversal do navio de cruzeiro do Independence of The Seas



Fonte: Internet

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho foi possível verificar as diferenças e as principais finalidades de cada tipo propulsor utilizados ao redor do mundo, bem como as manobras específicas para esses tipos de propulsores.

Durante o desenvolvimento dessa monografia foi presumível que há muitas diferenças entre cada tipo de sistema e que cada propulsor é mais eficiente em um tipo de manobra do que em outra. Pode ser concluído que cabe ao operador saber usar estes tipos de propulsores e rebocadores, saber a hora certa de usar cada um e o modo com o qual devem ser operados. Estes profissionais devem saber operar seus navios com os recursos disponíveis e utilizar os auxílios disponíveis em cada porto; sabendo ter sempre um bom discernimento.

REFERÊNCIAS

ARMELIN, Ricardo Cardoso. **Propulsor voith Schneider**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro.

Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 23, 2010, Rio de Janeiro. **Alocação de Empuxo Para Sistema DP: Efeito da Utilização de Lemes de Alto Desempenho**. Disponível em: <<http://www.ipen.org.br/Artigos-congresso23-Sobena/SOBENA2010-123.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

CFD applications at Voith Turbo Marine.

Filme Azimuth Stern Drive, DAMEN SHIPYARDS

HARBORMASTER MARINE. **Bow thruster/ Stern thruster**. Disponível em: <http://www.harbormastermarine.com/Tunnel_Bow_Thrusters.htm>. Acesso em: 05 jul. 2015

HENSEN, Capt. Henk. Tug use in Port, a Pratical Guide. 2 ed., Rotterdam: The Nautical Institute, 2003

NAUTICEXPO. **Azimuth thruster / for ships / Z-drive / twin counter-rotating propellers**. Disponível em: <<http://www.nauticexpo.com/prod/veth-propulsion/product-31774-345676.html>>. Acesso em: 07 jul. 2015.

REGAZZI, Hermann. Hidrodinâmica para navegantes. 3 ed.

RONGEL, Ivan Pereira. **ANÁLISE ESTRUTURAL LOCAL DO PONTOON DE UMA PLATAFORMA SEMI-SUBMERSÍVEL**. 2008. Disponível em: <http://www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/2008_graduando_ivan_rongel.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2015.

SHOTTEL. **SRP retractable thruster**. Disponível em: <<http://www.schottel.de/pt/propulsao-maritima/srp-azimutais-retrateis/>>. Acesso em: 19 jul. 2015.

SHOTTEL. **STT propulsores transversais**. Disponível em: <<http://www.schottel.de/pt/propulsao-maritima/stt-azimutais-transversais/>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

TEIXEIRA, Natan Malvares. **Manobra do navio**: Uso de rebocadores. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro.

THRUSTMASTER. **Thrusters on Semi-Submersibles and The Coanda Effect**. Disponível em: <<https://www.thrustmaster.net/semi-submersibles-coanda-effect/>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

VOITH. **Voith Water Tractor**. Disponível em: <<http://www.voith.com/br/products-services/power-transmission/applications/voith-water-tractor-14322.html>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

WIKIPEDIA. **Efeito Coanda**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Coanda>. Acesso em: 21 jul. 2015.