

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

RAYANE NUNES RODRIGUES DIAS

REBOCADORES E SEUS SISTEMAS DE PROPULSAO

RIO DE JANEIRO

2015

RAYANE NUNES RODRIGUES DIAS

REBOCADORES E SEUS SISTEMAS DE PROPULSÃO

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

Orientador (a): José Barbosa da Silva Filho.

RIO DE JANEIRO

2015

RAYANE NUNES RODRIGUES DIAS

REBOCADORES E SEUS SISTEMAS DE PROPULSÃO

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador:

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho aos meus familiares, pelo apoio e compreensão, durante todo esse período de curso, aos amigos pelo incentivo, aos professores que contribuíram para a minha formação, e a todos aqueles que me forneceram conhecimento durante todo esse período de curso, pela dedicação com que lecionaram durante esses três anos de curso.

AGRADECIMENTO

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades. A este Centro de Instrução, seu corpo docente, direção e administração, ao meu orientador José Barbosa da Silva Filho e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“ Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fies a nós mesmos.”
(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

A principal característica de qualquer rebocador é seu sistema de propulsão. Este trabalho foi desenvolvido tendo como foco explicar, de forma sutil, os sistemas de propulsão de rebocadores. Os sistemas de propulsão devem ser capazes de rebocar, puxar e empurrar efetivamente e com uma resposta rápida e precisa, para evitar acidentes e poluição. Esses sistemas podem variar de um simples propulsor até mais de um, dois, três propulsores com alta sofisticação e potência que podem ser operados, simplesmente, por computadores. Modernos motores são geralmente compatíveis com a maioria dos sistemas de propulsão marítimos. Os vários tipos de hélices e unidades de propulsão podem ser usados em muitas diferentes configurações, dependendo do *desigh* básico de cada rebocador. Portanto, aqui serão mostrados alguns exemplos em uma simples explanação a complexidade de alguns sistemas mais comuns.

ABSTRACT

The most important feature of any tug is the propulsion system. The purpose of this job is to refer to the entire assembly of engine and propellers. A tug's propulsion system must enable the vessel to tow or push effectively and at the same manoeuvre quickly and precisely, in order to avoid pollution and any kind of accident. The propulsion system in a tug can vary from a single engine driving a screw propeller to a number of highly sophisticated propulsion units powered by separate engines and operated under computer control. Modern marine engines are generally compatible with a wide range of propulsion systems. The various types of propeller and propulsion unit may be used in several very different configurations, dependent on the basic tug design. Therefore, examples have been chosen to give the simplest explanation of what are often quite complex systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1-** Rebocador convencional
- Figura 2-** Rebocador trator
- Figura 3-** Voith schneider
- Figura 4-** Rebocador azimutal
- Figura 5-** Trator reverso
- Figura 6-** Rebocador ASD
- Figura 7-** *Combi-tug*
- Figura 8-** Rebocador SDM
- Figura 9-** Rebocador SDM
- Figura 10-** Rebocador convencional
- Figura 11-** Rebocador trator com propulsão cicloidal
- Figura 12-** Rebocadores combinados
- Figura 13-** Rebocadores combinados
- Figura 14-** Trator com propulsão azimutal
- Figura 15-** Trator Reverso
- Figura 16-** Trator reverso
- Figura 17-** Leme tipo schilling
- Figura 18-** Dois lemes tipo schilling
- Figura 19-** Lemes de Flanking
- Figura 20-** Sistema towmaster
- Figura 21-** Túnel bow thruster
- Figura 22-** Túnel bow thruster
- Figura 23-** Rebocador convencional de uma única hélice
- Figura 24-** Rebocador convencional de duas hélices
- Figura 25-** Rotor tug
- Figura 26-** SDM
- Figura 27-** Rebocador tipo carrossel

1 INTRODUÇÃO	10
2 TIPOS DE REBOCADORES PORTUÁRIOS	11
2.1 ReboCADORES do tipo convencional	17
2.2 ReboCADORES tratores com propulsão cicloidal	19
2.3 ReboCADORES combinados	20
2.4 ReboCADORES tratores com propulsão azimutal	23
2.5 ReboCADORES tratores reversos	23
2.6 ReboCADORES ASD	25
3 PROPULSÃO MAIS LEME	26
3.1 Leme <i>Becker</i> e leme <i>Schilling</i>	26
3.2 Lemes com flap	27
3.3 Lemes <i>Schilling</i>	27
3.4 Dois lemes do tipo <i>Schilling</i>	28
3.5 Lemes de <i>Flanking</i>	29
3.6 Leme cicloidal (VCR)	30
3.7 Sistema <i>towmaster</i>	31
4 MANOBRAS EM REBOCADORES	33
4.1 Uma única hélice	33
4.2 Duas hélices	34
4.3 Rotor <i>tug</i>	35
4.4 SDM (<i>ship docking modules</i>)	36
4.5 ReboCADORES tipo carrossel	37
5 ESCOLHENDO O REBOCADOR IDEAL	38
5.1 Influência do vento	38
5.2 Influência da corrente	38
5.3 Influência das ondas	39
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A indústria de reboque tem uma história relativamente pequena de aproximadamente 170 anos, mas ela tem sido um dos avanços mais significantes na área marítima.

Usar o rebocador para prestar assistência em portos ao redor do mundo é apenas uma das funções que ele pode realizar, mas essa função ainda continua sendo uma das mais importantes oferecidas pelas companhias de rebocadores. Há, e provavelmente sempre existirá, navios no qual podem ser manobrados seguramente nos portos com ajuda de rebocadores e similarmente há portos que unicamente são acessíveis a navios somente quando existe rebocador auxiliando. Nesse contexto o uso de rebocadores representa um custo adicional aos armadores. Consequentemente, existe pressão por parte dos armadores em querer rebocadores mais efetivos e mais baratos, com pequena tripulação visando reduzir custos. Logicamente, deve-se levar em conta que quanto maior for a embarcação assistida mais sofisticado e ágil serão os rebocadores.

Esse tipo de serviço é muito importante para navios transportando carga perigosa, entre outras cargas que podem prejudicar a vida marinha do local, o que tem sido uma questão de grande importância para governantes e ambientalistas.

Existe rebocadores que ficam por perto, escoltando, para quando o navio entra no porto, em caso de uma eventual emergência, ele atuar (os chamados rebocadores *scort*), existe, também, os de combate a incêndio, os que auxiliam a atracação e desatracação, enfim, essas só são algumas das múltiplas funções dos rebocadores atuais.

Rebocadores portuários são nomeados segundo suas principais características: Tipo de propulsão, fabricante dos propulsores, localização do propulsor ou sistema de governo.

Os nomes incluem rebocadores convencionais, rebocadores *voith schneider*, rebocadores *Z-peller*, rebocadores *nozzle kort* e rebocadores tratores, entre outros.

Não há sistema uniforme de nome no uso e isso pode ser confuso. Por exemplo, quando falamos de *Z-peller* o que isso significa? Isso é um rebocador com propulsores azimutais avante ou com propulsores azimutais a ré? A diferença não parece tão grande, mas considerando a performance do rebocador enquanto presta assistência é extremamente relevante. Depois disso, deve-se analisar também para que ele é usado – geralmente para dar assistência a embarcações ao entrar e sair de portos. Como melhor visto depois, é melhor classificar os rebocadores de acordo com a localização da propulsão e o ponto de reboque. Isso torna mais fácil o entendimento.

2 TIPOS DE REBOCADORES

Nomeando esses rebocadores dessa forma há somente duas principais classificações, no qual pode ser agrupado como se segue:

a) Rebocadores com sua propulsão a ré e ponto de reboque próximo à metade do navio. Esses são basicamente os chamados de rebocadores convencionais.

Essa categoria inclui todos os tipos normais convencionais de rebocadores como os de uma e duas hélices.

Figura 1 - Rebocador convencional



Fonte: Tug in use in port

b) Rebocadores com seu ponto de reboque a ré e propulsão avante. Esses são os rebocadores tratores.

Figura 2 - Rebocador trator



Fonte: Tug in use in port

Nessa categoria estão:

- Rebocadores tratores com propulsão tipo *voith schneider*.

Figura 3- Voith schneider



Fonte: Tug in use in port

- Rebocadores tratores com propulsão azimutal.

Figura 4- rebocador azimutal

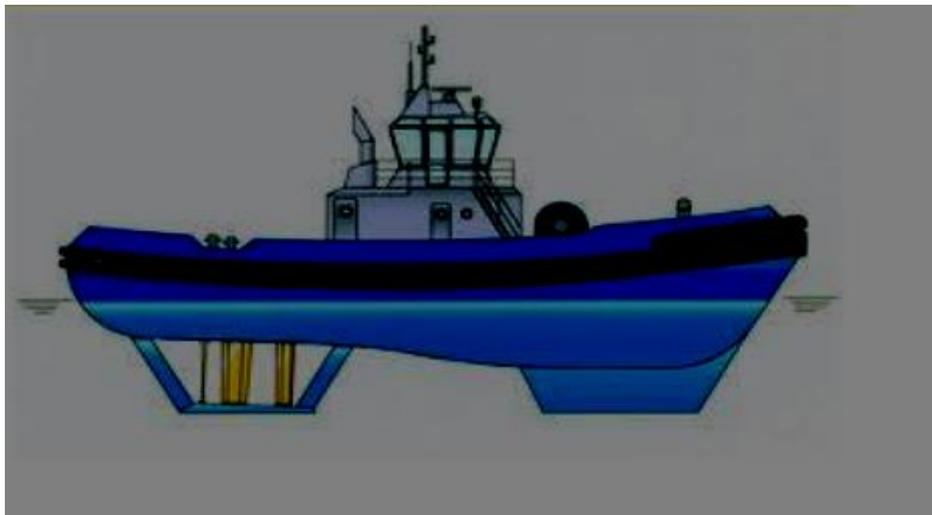


Fonte: Tug in use in port

Há tipos de rebocadores intermediários que podem ser classificados tanto como convencionais e rebocadores tratores, dependendo da forma que eles operam. Esses rebocadores são:

- Trator reverso também chamado de *pusher tugs* – rebocadores com propulsão azimutal a ré e ponto de reboque avante, construído para operar principalmente com a proa. Como pode ser visto, por exemplo, no Japão, Hong Kong e Taiwan. Rebocadores tratores normalmente trabalham com seu ponto de reboque a ré. Rebocadores tratores reversos operam da mesma forma. Lembrando que há uma troca entre o ponto de reboque e posição dos propulsores dos rebocadores tratores mais comuns, ele, agora, troca o lugar da propulsão que antes era avante para ser a ré.

Figura 5 - Trator reverso



Fonte: Tug in use in port

- Rebocadores *Azimuth Stern drive (ASD)*. Ele tem várias utilizações, com um propulsor azimutal a ré no qual é construído para operar na proa de embarcações como um rebocador trator reverso, bem como trabalhar a ré como um rebocador convencional. A maioria dos rebocadores *ASD* tem seu guincho avante e um atrás do passadiço, enquanto que alguns *ASD* 's tem somente um simples gancho no lugar de um guincho a ré, ou seja, seu ponto de reboque é tão bom na proa (como um trator reverso), como na popa, como um rebocador convencional porque um *ASD* pode operar como um rebocador trator reverso. Os rebocadores do tipo *ASD* são frequentemente mencionados juntos com os rebocadores tratores reversos. Embora o termo *ASD* (azimutal a ré, como diz o nome)

seja frequentemente usado, não é bom nome, porque rebocador trator reverso também tem propulsor azimutal a ré. Multi- tug é um melhor nome.

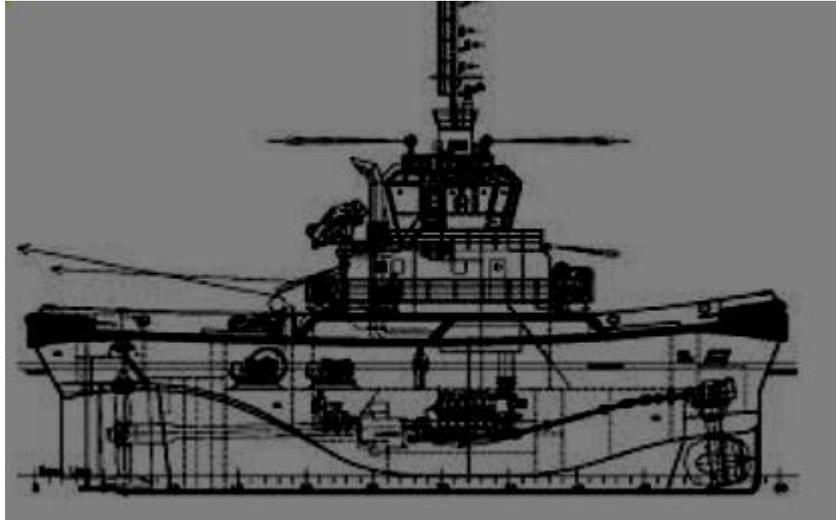
Figura 6- Rebocador ASD



Fonte: Tug in use in port

Velhos rebocadores modificados com bow thruster que pode girar 360° (“azimutal”), é chamado de *combi-tug* (rebocadores combinados).

Figura 7- Combi-tug



Fonte: Tug in use in port

Logo, os seguintes tipos de rebocadores, pertencem a um ou mais de um dos grupos acima:

1. Rebocadores convencionais.
2. Rebocadores tratores, com propulsor azimutal ou *voith propulsion* (“nome do fabricante conhecido na área de azimutais).
3. Rebocadores ASD.
4. Rebocadores tratores reversos.
5. Rebocadores combinados.

Tipos de rebocadores

1. propulsão avante

1.1. Tratores

1.1.1. Azimutal

1.1.2. Voith Schneider

2. Propulsão a ré

1.1. Convencional

1.2. ASD (multi-*tug*)

1.3. Trator reverso

1.4. Combi-*tug*

O rebocador rotor (ou SDM) é um rebocador trator com uma skeg dinâmica, sendo um terceiro propulsor. (Dois avante e um dinâmico a ré).

Figura 8- Rebocador SDM



Fonte: Tug in use in port

O SDM não pertence a nenhuma categoria mencionada acima.

Figura 9- Rebocador SDM



Fonte: Tug in use in port

Existe, claro, muitas diferenças na construção, design do casco, propulsão e configuração do leme e isso dentro de cada tipo de rebocador. Os diferentes tipos de rebocadores são discutidos em mais detalhes começando com alguns aspectos gerais lembrando, levando em consideração, a performance e segurança das operações.

2.1 Rebocadores do tipo convencional

Os maiores números de rebocadores são convencionais. Eles podem ser vistos em todo mundo e ainda estão sendo construídos em maior número no mundo. Rebocadores convencionais são usados no método chamado de empurra-puxa, no método de reboque colado ao costado e, em particular, nos portos europeus, rebocando com cabo.

Existe uma grande variedade de rebocadores convencionais. Os mais simples são de apenas um hélice e com um simples leme. Porém quando rebocando em linha seu principal risco é de emborcar. Existe um mecanismo de segurança que pode ajudar a diminuir esse risco, soltando o cabo de segurança, mas não são todas as vezes que ele funciona. Quando em máquinas a ré sua eficiência é baixa. É permitido manobrar na proa do navio, porém é melhor quando esses rebocadores são capazes de manobrar para o lado, ou seja, um rebocador convencional ajustado com um azimutal, por exemplo.

O ponto de reboque desses rebocadores geralmente estão 0.45 (45% do comprimento) da linha da água medida a partir da ré da embarcação, embora esse ponto possa estar numa

distância menor.

A maioria dos rebocadores são equipados com motores a diesel, embora antigos rebocadores portuários com máquina a vapor podem ser encontrados em grandes museus marítimos. Os motores diesel são de média e alta velocidade.

Os sistemas de reversão direta são os mais antigos e podem ser encontrados em rebocadores convencionais. O controle da máquina pode ser feito no passadiço, em alguns rebocadores, e em outros é necessário ter um oficial de máquinas a bordo para essa operação. No início seu número de manobra era limitado pela quantidade de ar de partida disponível, isso para um hélice de passo fixo.

Com o surgimento da propulsão diesel elétrica acabou com esse problema do ar de partida, uma vez que é necessário apenas uma caixa redutora de engrenagem para reverter sua manobra indo avante e mudando para ré, ou vice-versa. Esse sistema é de fácil operação no passadiço, ele entrega potência efetiva ao eixo sem atraso, porém possui alto custo de instalação e manutenção comparado a outros sistemas. Problemas de torque podem surgir quando a reversão é feita em altas velocidades. Esses problemas podem ser reduzidos dependendo da forma do propulsor.

Esses propulsores podem ser abertos ou com *nozzle*. Indo a ré o propulsor aberto de passo fixo, em geral, perde cerca de 60% do seu máximo impulso para avante. Agora, um propulsor de passo controlado indo para ré desenvolve cerca de 40% a 45% do seu máximo impulso a ré. A menor eficiência a ré.

Nozzle aumenta o impulso significativamente, Mr. Ludwig Kort, um aerodinamicista, inventou o primeiro *nozzle*, em 1927. Sua primeira atuação foi em 1932. O *nozzle* aumenta o impulso de 15-25% no reboque e na condição de empurrar embarcações. *Nozzle* aumenta a eficiência propulsiva mas diminui a capacidade de governo.

Rebocadores convencionais podem ser de um, dois ou três propulsores. A manobrabilidade de rebocadores com dois e três hélices são melhores.

Figura 10- Rebocador convencional



Fonte: Tug in use in port

2.2 Rebocadores tratores com propulsores cicloidais

Possuem pás verticais sob a quilha avante, também chamado de *voith schneider* (rebocadores VS). O primeiro modelo foi desenvolvido no início de 1920, na universidade de Seattle em Washington, USA. Muitas das limitações dos rebocadores convencionais foram superadas pela introdução desses rebocadores cicloidais.

O sistema de propulsão cicloidal, de fato, é um tipo de propulsor de passo controlado. A máquina trabalha em uma rpm constante, a intensidade e a direção do impulso é regulado pelo passadiço. Os rebocadores VS consistem de duas unidades com lâminas propulsivas verticais no qual pode-se regular o passo e a direção do fluxo nos 360 graus sem atraso, sua localização é aproximadamente $0.25 - 0.30 \times \text{LWL}$ (linha da água contada a partir da proa) e ponto de reboque fica entre $0.1 - 0.2 \times \text{LWL}$ a partir da popa, podendo ser diferente dependendo das necessidades operacionais. Existe rebocadores com lâminas que trabalham como *nozzle* e aumenta a eficiência propulsiva, em docagem o rebocador fica em cima dessa estrutura e de uma grande quilha a ré conhecida como skeg. Grande skeg é típico de rebocadores tratores, ele permite um aumento na estabilidade do curso e traz o centro hidrodinâmico de pressão para ré do rebocador, o skeg também aumenta a segurança e a performance do rebocador quando em rebocando com cabo, especialmente performance de reboque quando opera a ré em altas velocidades. Rebocadores *voith schneider* possui defensas reforçadas a ré porque quando empurra uma embarcação, ele empurra com a ré.

Os rebocadores mais modernos têm pequeno passadiço, mas com ótima visibilidade.

Figura 11- Rebocador trator com propulsão cicloidal



Fonte: Tug in use in port

2.3 Rebocadores combinados

Design e manobra de rebocadores portuários

Como discutido acima, a manobrabilidade de um rebocador convencional de um hélice pode ser melhorada pelo uso de lemes de alta sustentação. No entanto, a desvantagem de muitos rebocadores de um único hélice sem *nozzles*, *towmaster sistem* e/ou *flanking rudders*, é que mover-se a ré quase não é possível e também rebocadores de um único hélice não pode se mover lateralmente a menos que seja ajustado com túnel *bow thruster* em combinação com lemes de alta sustentação. O poder dos rebocadores de um único hélice a ré é baixo, a menos que um rebocador seja equipado com lemes especiais e/ou arranjos nos propulsores no qual aumenta a sua eficiência.

Figura 12 – Rebocadores combinados



Fonte: Tug in use in port

Instalando no rebocador convencional de um único hélice com 360 graus de manobrável *bow thruster*, também chamado de *azimuth bow thruster*. As desvantagens dos rebocadores convencionais podem ser melhoradas. Rebocadores equipados com *bow thruster* são os chamados *combi-tug*. O primeiro rebocador combinado apareceu no início de 1960. Um rebocador equipado com esse tipo de *bow thruster* pode, com ajuda de um propulsor principal e o *bow thruster* girar no ponto, navegar diretamente a ré a uma velocidade razoável e mover para o lado também. O *bow thruster* na mesma direção com o propulsor fornece uma tração estática adicional avante e a ré e também aumenta a máxima velocidade do rebocador. Na maioria dos casos esse tipo de *bow thruster* é equipado com *nozzle*, que pode ser do tipo retrátil ou fixo. Um *azimuth bow thruster* com um propulsor *nozzle* abaixo da quilha, diferente do túnel *bow thruster*, alcança alta eficiência em qualquer direção mesmo quando o rebocador está se movendo rapidamente. Isso fornece um aumento adicional de manobrabilidade ao rebocador.

Como no exemplo, um *azimuth bow thruster* de 400hp pode aumentar a velocidade máxima de um rebocador de 27 metros de comprimento e máquina de 1500bhp de 0.5 nó. Com apenas o *bow thruster* trabalhando na velocidade de cerca de 5 nós. A força de reboque é aumentada de 5 toneladas se a principal propulsão e o *bow thruster* trabalharem na mesma direção. Tudo isso é adicional a manobrabilidade do navio.

Para velhos rebocadores isso é satisfatório e uma barata forma de melhorar a manobrabilidade e a tração estática. Como exemplo temos o rebocador convertido em Amsterdam, alguns rebocadores velhos têm sido convertidos em rebocadores combinados e em São Pedro, Califórnia, USA, o rebocador São Pedro agora chamado de *Pacific Combi*, foi convertido em rebocador convencional com uma conversão similar ao do Point Gilbert e o *Flying Phantom*. O *San Pedro* tem sido equipado com 600bhp *bow thruster*, no qual tem aumentado a tração estática do rebocador em 40%, de 25 para 35 toneladas e tem melhorado a capacidade de manobra. *Moran towing company*, USA, revitalizou sua frota de rebocadores de um único hélice com retrátil *azimuth bow thruster*. Os novos são equipados com *bow thruster*, todos do tipo retrátil. Se um *azimuth bow thruster* não está em uso pode causar grande resistência. Esse é o motivo em fazê-lo retrátil. Em águas rasas é necessário ser retrátil. Cuidado é necessário quando usamos *azimuth bow thruster* quando a folga abaixo da quilha é pequena e ele deve ser retraído na hora certa. Um bom sistema de alarme é recomendado quando a profundidade da água não é suficiente para trabalho seguro do *bow thruster*.

Figura 13- Rebocador combinado



Fonte: Tug in use in port

2.4 Rebocadores tratores com propulsão azimutal

O primeiro rebocador trator e com propulsão azimutal surgiram na década de 60. O primeiro rebocador foi o rebocador alemão *tug janus* (1967). Propulsores azimutais podem ser de passo fixo ou variável, possuem *nozzle*, grande calado para proteção em caso de encalhe e

docagem. São bastante parecidos em termos *design* o cicloidal e o azimutal, mas o deslocamento (em toneladas) do cicloidal é muito maior que o azimutal. Um rebocador trator azimutal de mesmas dimensões e poder de máquina terá, portanto, um menor calado. Seu ponto de reboque é muito similar ao dos rebocadores cicloidais, contudo sua skeg é menor, o que influencia ligeiramente no seu ponto de reboque. O ponto de reboque é aproximadamente $0.1 \times$ LWL a partir da ré e os propulsores são fixados $0.30 - 0.35 \times$ LWL avante.

Figura 14– Trator com propulsão azimutal



Fonte: Tug in use in port

2.5 Rebocadores tratores reversos

Também chamados de *pusher tug*, são rebocadores que possuem dois rebocadores azimutais a ré, possuem um grande guincho de reboque avante e um único equipamento de reboque mais simples a ré. Nos portos do pacífico os rebocadores usam a proa para reboque. O ponto de reboque a ré frequentemente fica mais a ré para ser efetivo se esse tipo de rebocador for rebocar com cabo como um rebocador convencional faz, esse ponto de reboque na popa fica muito próximo dos propulsores.

Sistemas de propulsão azimutal em uso foram feitos na Europa e no Japão, hoje estão sendo anexados a esses antigos modelos propulsores que sejam de passo controlado e com *nozzle*. O calado dos rebocadores tratores é menor se comparado com os rebocadores tratores. Os propulsores estão localizados aproximadamente $0.1 \times$ LWL a partir da ré. O ponto de empurrar e o ponto de reboque geralmente são na proa. O passadiço do rebocador é projetado para uma visão desobstruída na proa para ver melhor os métodos de reboque com cabo passado ou empurrando a embarcação.

Figura 15 - Trator reverso



Fonte: Tug in use in port

Figura 16- Trator reverso

Fonte: Tug in use in port

2.6 Rebocadores ASD (Azimuth stern drive)

Os rebocadores ASD é uma combinação das vantagens trazidas pelos rebocadores convencionais somadas as vantagens trazidas pelo rebocador trator reverso. Possuem um guincho avante e um guincho ou apenas só um gancho a ré. O guincho ou gancho a ré é uma posição adequada para rebocar com cabo passado, esse ponto fica de $0.35 - 0.4 \times \text{LWL}$ a partir da popa. Como rebocadores tratores reversos, possui dois azimutais a ré, cerca de $0.1 \times \text{LWL}$ a

partir da popa.

O ASD é feito pelos mesmos fabricantes dos tratores com propulsão azimutal. O calado máximo é menor do que os rebocadores tratores. Eles podem ser equipados com túnel *bow thruster* (propulsores no costado que estão na lateral do navio e faz com que o navio se desloque lateralmente), especialmente usados pra operações de apoio marítimo, o túnel *bow thruster* não são muito efetivos para grandes velocidades, mas é útil quando se quer manter uma posição. Sua proa mais profunda, tem o objetivo de proteger as instalações propulsivas. Como exemplo temos o ASD-*tug Z-two* da companhia Tugz Internacional LLC (USA), com propulsão azimutal retrátil.

3 PROPULSÃO E LEME

3.1 Leme Becker e leme Schilling

O maior problema dos lemes convencionais é a formação de turbulência quando o ângulo de carregamento é muito alto, que levam o leme a estola e perder o efeito. Tal quadro é especialmente grave em situações de manobra quando a velocidade é sempre reduzida e necessitamos de maiores ângulos de leme para garantir a manobrabilidade do navio. Visando resolver esta dificuldade, foram desenvolvidos lemes com características especiais que mantivessem a efetividade do leme mesmo com ângulos de carregamento bastantes altos.

Entre os lemes dotados de flap móvel na saída da água, o modelo mais conhecido é o leme *becker*. Sua particularidade em relação ao leme convencional é a existência de um *flap* com área correspondente de 20% ou 30% da área total do leme, que é normalmente governado junto a parte principal, variando seu ângulo de duas a três vezes o ângulo dado na parte principal. Isto significa que se o leme é carregado para 30° a boreste, por exemplo, o *flap* automaticamente apresentará um ângulo de aproximadamente 60°.

Menores ângulos de leme têm ângulos de *flap* proporcionalmente maiores. Com qualquer ângulo de leme, o fluxo passa suavemente pela superfície do leme, sem formação de turbulências que afetam sua eficiência. O efeito para reduzir a velocidade também é aumentado. Algumas marcas de leme dotadas de *flap* móvel têm localizado na extremidade avante um rotor vertical, melhorando a organização do fluxo de água, evitando que ele venha a estola.

O outro tipo de leme que oferece qualidades semelhantes é o leme *Schilling*. Possui um formato elíptico na extremidade de ré com chapas no topo e na base que impedem a fuga de água por cima ou por baixo do leme, garantindo um fluxo de água organizado, mesmo com ângulos iguais a 70°. Apresenta uma excelente performance na versão *monovec* (um único leme) ou *vectwin* (dois lemes com um único propulsor), sendo esta última opção bastante incomum e de operação sofisticada, podendo cada leme ser carregado dentro de um arco de 145 graus e a combinação entre os dois lemes produzir uma força apenas transversal ou unicamente na direção longitudinal.

Nos dois casos, a eficiência desses lemes da proporcionalidade entre a área do leme e as dimensões do navio. O uso desses lemes especiais em combinação com o *bow thruster* permite a execução de manobras sem auxílio de rebocadores, o que na maioria dos casos acaba compensando o custo adicional da construção com a economia da despesa portuária.

3.2 Lemes com flap

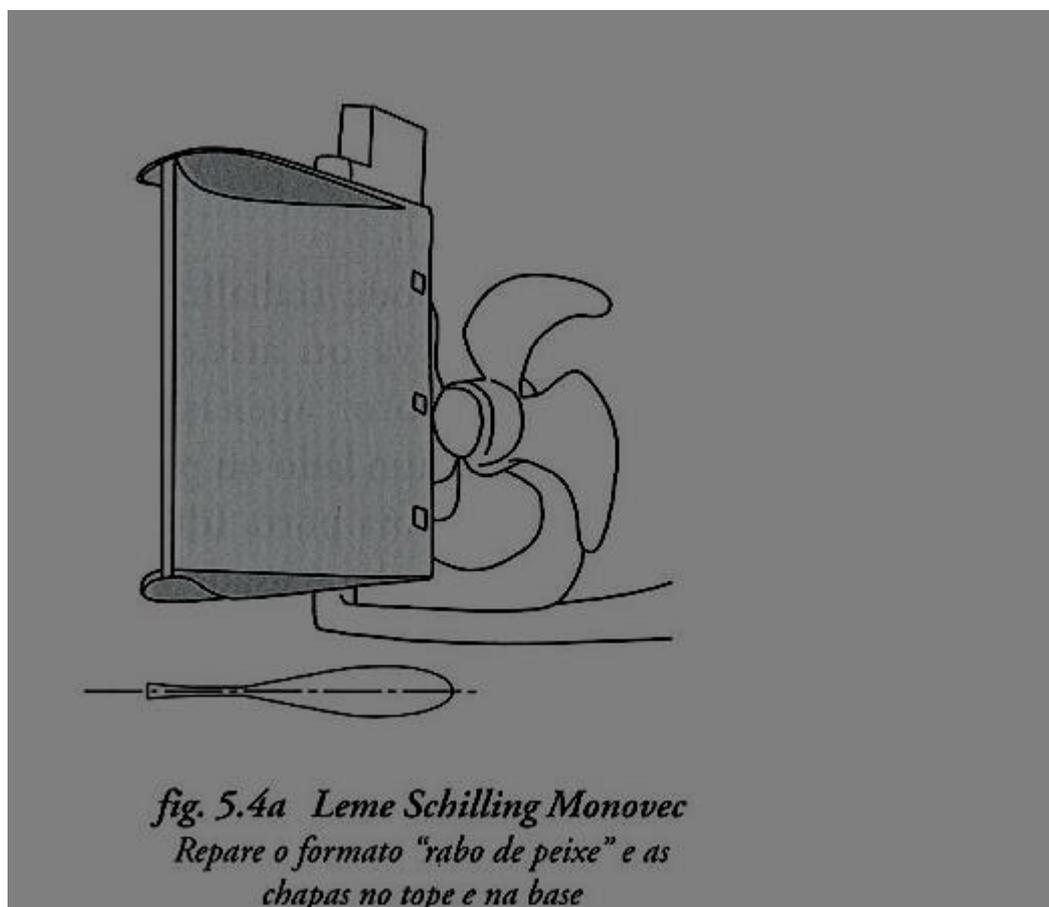
Há muitos tipos de lemes com flap, localizado no final da lâmina, cerca de 20-30% da

área do leme, em um leme convencional, temos variações que vão de zero a trinta e cinco graus para cada bordo, lemes com flap permitem variações de 40,50 graus. Cada tipo de flap tem suas características especiais. A máxima sustentação alcançada, que é alcançada com um ângulo de leme de 30 graus, é aumentada de 60-70% comparado em relação a um leme convencional de mesma forma, tamanho e área. O impulso lateral aumenta em 50% do impulso avante, quando a embarcação estiver parada na água ela pode girar no ponto. Rebocadores podem ter mais de um leme com flap, pode existir outro atrás do *nozzle*. A performance dos lemes com flap quando o navio está indo para avante é quase a mesma de um leme sem flap.

3.3 Leme Schilling

Lemes *Schilling* possuem alta sustentação, são chamados de *fishtail* porque olhando por baixo seu perfil parece com um rabo de peixe. Esse tipo de leme desenvolve de 30-40% mais sustentação do que os lemes convencionais. Quando movendo a ré esses tipos de leme são mais efetivos que os outros.

Figura 17– Lemes tipo Schilling

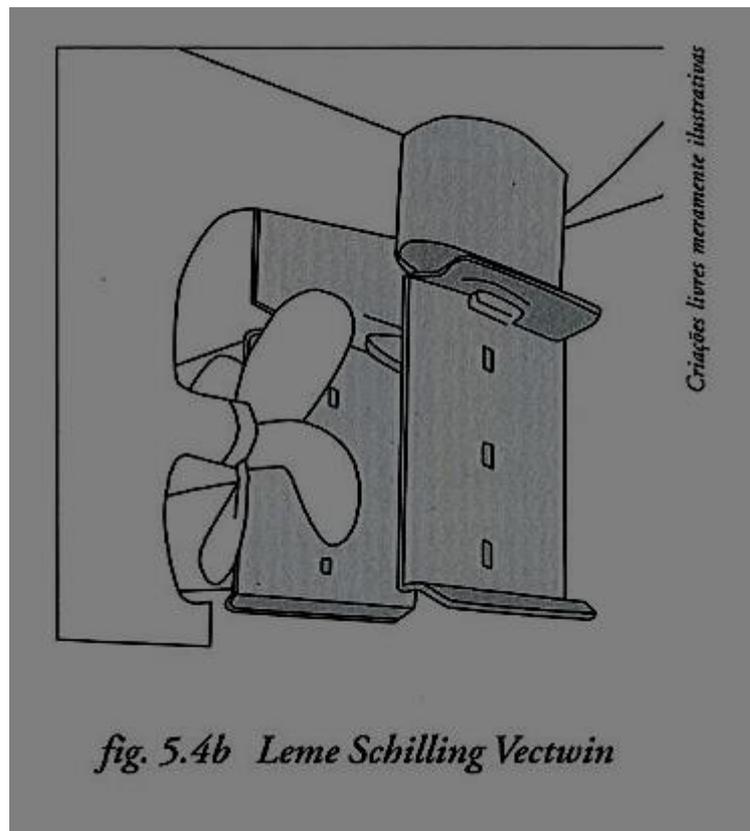


Fonte: Tug in use in port

3.4 Dois lemes do tipo Schilling

Também chamados de *schilling Vectwin*, tornam a embarcação mais manobrável. Cada leme tem um sistema de governo independente. Os lemes podem ser governados por *joystick*, com 105° para fora e 40° para dentro, o máximo impulso para o lado é cerca de 70% do impulso avante.

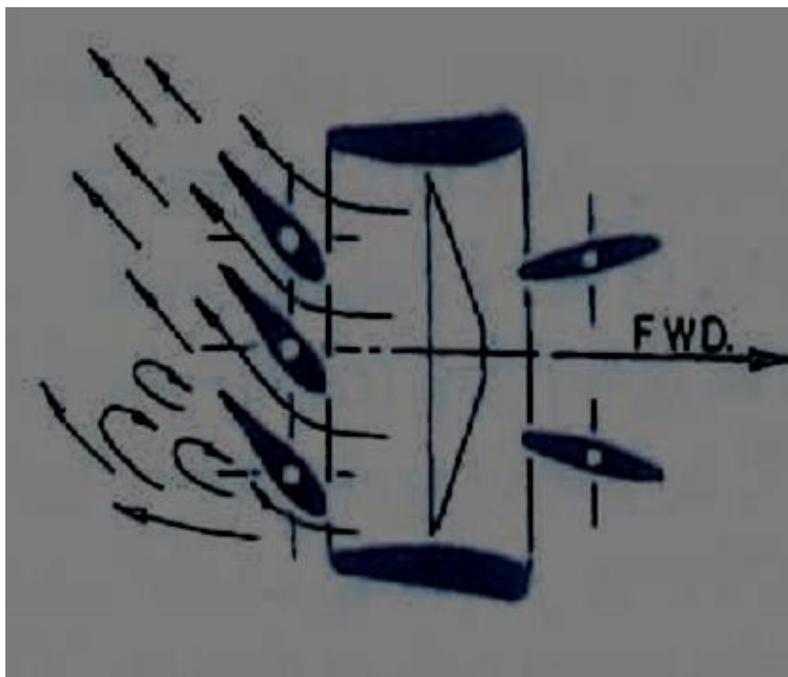
Figura 18- dois lemes tipo Schilling



Fonte: Tug in use in port

3.5 - Lemes de Flanking (lemes de flanco)

Lemes de flanco são instalados na frente do propulsor e são usados em rebocadores de um hélice e de dois hélices. Lemes de flanco são geralmente instalados com outros sistemas de leme, como a instalação de um simples leme atrás do propulsor ou um sistema de leme *towmaster* que são geralmente usados em conjunto com *nozzle* fixo. Em geral são dois lemes situados antes do propulsor, quando o rebocador está indo avante o leme se mantém paralelo ao eixo longitudinal do navio, esse tipo de leme é efetivo quando o rebocador está se movendo para trás ou está rebocando com cabo passado na proa

Figura 19– Lemes de Flanking

Fonte: Tug in use in port

3.6 - Leme cicloidal (VCR)

O leme cicloidal ou *Voith Cicloidal Rudder (VCR)* é uma inovação, o qual têm encontrado bastante aceitação pela simplicidade do conceito.

Como no propulsor cicloidal, o VCR tem um disco colocado paralelamente ao fundo do navio e deste disco saem duas lâminas, como mostra a figura abaixo. Todo o conjunto é localizado por ante a ré do propulsor, recebendo sua corrente de descarga.

O leme cicloidal pode trabalhar de duas formas: passiva ou ativa. No modo passivo, o rotor apenas gira parcialmente, para um lado ou para o outro, como um leme convencional e é usado em alta velocidade.

Quando a velocidade do navio é baixa e o leme começa a perder eficiência, o VCR passa atuar de modo ativo. O disco começa a rodar em velocidade uniforme e, como no propulsor cicloidal, as lâminas passam a variar seu passo de forma a produzir a força na direção desejada.

No modo ativo, o leme cicloidal pode atuar aumentando ou reduzindo o seguimento, em conjunto com o propulsor principal, ou atuar como *stern-thruster* com controle direcional da força aplicada. São vantagens adicionais do leme cicloidal sobre o leme convencional a menor área de atrito e a maior eficiência.

3.7 - Sistema towmaster

É um tipo de leme mais fechado usado com *nozzles* fixos. Consiste de alguns lemes montados atrás do propulsor e algumas vezes montado na frente de cada *nozzle* (são os lemes de *flanking*). Atrás são geralmente três e na frente do propulsor são geralmente dois lemes. São caros e de grande complexidade. O sistema *Towmaster* fornece bom impulso e características de governo avante e a ré. O impulso a ré é mais que 70% do impulso avante. Mesmo os rebocadores recentemente construídos são equipados com esse tipo de sistema.

Figura 20- Sistema towmaster



Fonte: Tug in use in port

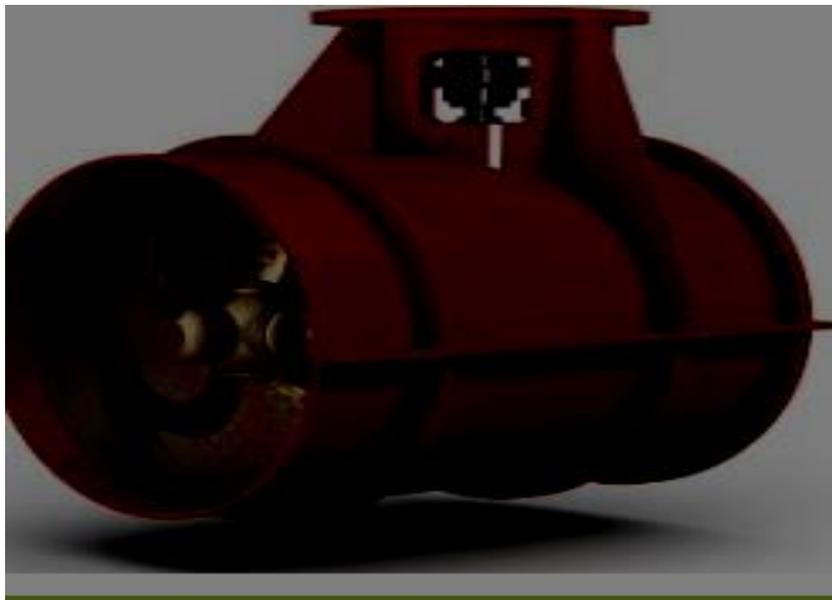
Rebocadores portuários são algumas vezes equipados com *bow thruster* no costado, uma forma de propulsão instalada no costado, sua efetividade é baixa para altas velocidade, com apenas dois nós de velocidade sua efetividade cai 50%. Opera tanto em áreas portuárias com em apoio marítimo, capacidade de melhor manter a posição próximo a plataformas de petróleo. Esse tipo de rebocador também é chamado de *combi-tug*.

Figura 21– Túnel bow thruster



Fonte: Tug in use in port

Figura 22- Túnel bow thruster



Fonte: Tug in use in port

4 MANOBRAS EM REBOCADORES

4.1 Uma única hélice

Três aspectos são importantes na manobra de um rebocador de uma única hélice.

1. Em que local exatamente se encontra o leme e o propulsor.
2. O efeito transversal do propulsor quando indo a ré.
3. O baixo poder quando se movendo a ré.

Girar no seu próprio centro, ou perto dele, é somente possível com lemes de alta sustentação. Não é possível movimentos laterais mesmo com lemes de alta sustentação, só é possível com lemes de alta sustentação junto com *bow thrusters*.

Existe um efeito chamado de *paddle wheel effect*, que para um propulsor de passo fixo que indo avante gira para direita, com máquinas a ré faz navio guinar para boreste, pois as pás jogam o fluxo na alheta de bombordo. Quase todos os rebocadores de um único hélice de passo fixo giram para direita quando indo para avante. Esse efeito pode ser controlado com *nozzles*, lemes *towmaster* e lemes de *flanking*, são colocados na direção que a popa se move.

Figura 23– Rebocador convencional de uma única hélice



Fonte: Tug in use in port

4.2 Duas hélices

São muito mais manobráveis que os rebocadores de uma única hélice. Eles podem girar em seu centro sem fazer seguimento para avante. Essa manobra pode ser feita colocando um propulsor indo para avante e o outro indo para ré e com o leme também. Geralmente giram para fora, exceto os feitos para trabalharem no gelo, isso permite uma alta eficiência propulsiva. Os de passo fixo possuem a desvantagem de ter um maior diâmetro de giro, porque o propulsor da

direita é de passo esquerdo e o propulsor da esquerda é de passo direito.

Quando o rebocador tem que trabalhar na parte lateral do navio, um rebocador convencional pode empurrar, mas não é o mais eficiente para puxar com o cabo passado na proa, devido ao limitado poder a ré. Lemes com configurações específicas, como o leme *Towmaster*, pode aumentar o impulso a ré. Também possuem dificuldades de puxar em no ângulo correto devido ao efeito transversal do propulsor, essa situação piorar mais ainda com vento e corrente. Se o navio estiver se movendo, avante ou com máquinas atrás, puxar em ângulos certos fica ainda mais difícil. Será, então, impossível puxar de forma correta. Medidas adicionais devem ser tomadas, como passar um cabo a mais na popa do rebocador presa ao navio, ajudando, assim, o rebocador a se manter na posição correta. O *bow thruster* não ajuda o navio se manter em ângulos corretos, enquanto que *nozzles*, lemes tipo *towmaster* e *flanking* tornam a manobra mais fácil, ajudando a manter o navio na posição correta. Rebocadores convencionais com dois hélices podem usar seus propulsores para manter o rebocador na posição correta, embora force muito as máquinas.

Figura 24 - Rebocador convencional de duas hélices



Fonte: Tug in use in port

4.3 Rotor tug

Um novo conceito sobre rebocadores com propulsores azimutais. Basicamente é um rebocador trator com propulsores azimutais, porém sua *skeg* é substituída por um terceiro propulsor azimutal, ou seja, um rebocador com 3 propulsores azimutais de mesma potência, com estruturas que protegem o propulsor quando em docagem. Algumas vantagens:

- Excelente manobrabilidade, no qual inclui entre outras coisas girar em torno do seu centro, velocidade igual a velocidade a ré, de aproximadamente 6 nós.
- Pequeno calado quando comparado com rebocadores tratores azimutais de dois propulsores.
- Em casos de falhas da máquina, o rebocador ainda pode operar retardando um pouco seu reparo.
- Sistema de posição dinâmica pode ser instalados para operações de offshore.

Figura 25 – Rotor tug

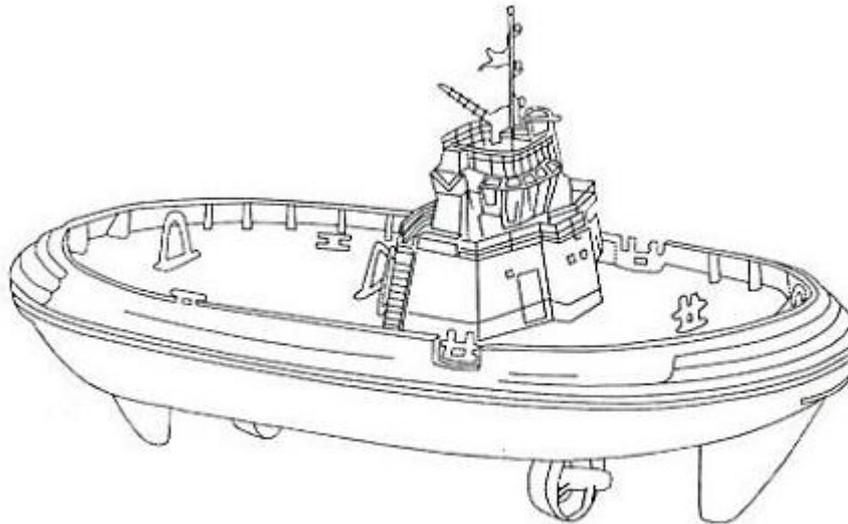


Fonte: Tug in use in port

4.4 SDM (*ship docking modules*)

Possui boca um pouco maior que 50% do comprimento, possui dois propulsores azimutais e duas *skeg* com buracos no seu centro para reduzir a diferença de pressão entre os dois lados causado pela aceleração do fluxo de água proveniente de cada *nozzle*. Um propulsor está localizado na bochecha de boreste e o outro na alheta de bombordo. Sem esses buracos o comandante do rebocador teria que corrigir o rumo de 5-10 graus para boreste. A construção do passadiço é mais segura pois possui uma espécie de baluarte que permite o homem trabalhar com mais segurança.

Figura 26 – Rebocador SDM



Criação livre meramente ilustrativa

Rebocador SDM

Fonte: Rebocadores portuários

4.5 Rebocadores tipo carrossel

Se necessário, por alguma razão podem girar 180° com cabo passado. A vantagem sobre os rebocadores convencionais é que pode operar com o navio tendo seguimento.

Figura 27 - Rebocador tipo carrossel



Fonte: Rebocadores portuários

5 ESCOLHENDO O REBOCADOR IDEAL

Para escolher um rebocador para um determinado tipo de navio é necessário saber, também, qual a força que o rebocador possui e qual é a velocidade do navio assistido. Existe algumas variáveis que influenciam como vento, corrente e ondas. É a chamada força de tração estática (*bollard pull*). Através desse parâmetro que podemos escolher qual é o melhor rebocador para assistir determinado navio. Essa relação, ao contrário do que parece, não tem relação direta com a potência do motor.

5.1 Influência do vento

A força produzida sobre um navio pela ação do vento vai variar basicamente em função da área do navio em contato com o vento. Assim, ventos com ângulos de incidência próximos da normal do eixo longitudinal do navio têm efeitos muito maiores que aqueles que incidem paralelo a eixo longitudinal do navio. Igualmente, quanto maior a borda livre, maior área velica e, portanto, maior força no costado. Navios como *roll on-roll off*, sofrem muito a influência do vento comparando com navios-tanque ou graneleiros. Por outro lado, navios com mesma área velica, o que tiver maior força é calculada pela seguinte fórmula:

$$F = 0,5 \times C \times r \times V^2 \times A$$

Onde:

F – Força lateral;

C – Coeficiente da força;

r – Densidade do ar;

A – Área longitudinal.

Outra fórmula sueca, bastante utilizada é:

$$F = \text{área (m}^2\text{)} \times V^2 / 1000 \times 18$$

5.2 Influência da corrente

Varia da mesma forma que a produzida pelo vento. Conforme a área exposta a incidência do fluxo:

$$F = 0.5 \times C \times r \times V^2 \times Lbp \times T$$

Onde:

Lbp – Comprimento entre perpendiculares;

T – Calado em metros.

Para águas profundas temos (folga sob a quilha maior que 6 vezes o calado):

$$F = 0,031 \times V^2 \times Lbp \times T$$

Para folga abaixo da quilha menor que 10% do calado

$$F = 0,150 \times V^2 \times Lbp \times T$$

Nota-se, que em águas rasas, a força de tração estática aumenta em até 5 x.

5.3 - Influência das ondas

A seguinte fórmula vale para apenas ondas de curto período e de dimensões pequenas, até porque dificilmente uma manobra com rebocares pode ser feita em caso de grandes ondas.

$$F = 0,112 \times Lbp \times H^2$$

Onde:

H – É a altura das ondas medidas de crista à cavado (m)

Força de tração estática necessária a uma determinada manobra.

Exemplo 1: ULCC – coeficiente de bloco 0,85

Deslocamento 420 000tons

Dwt 350 000 tons

Loa 365 metros

Boca 65,50 metros

Lbp 345 metros

Calado máximo 22,00 metros

Vento e corrente inexistentes

Dada ausência de outros fatores, utilizaremos apenas a fórmula baseada no deslocamento.

Assim, *Bollard pull* = 40 + (0,00001 x 420000 x 60)

Bollard pull necessária= 292 ton força

Exemplo 2: VLCC – coeficiente de bloco 0,84

Deslocamento 335 000 tons

Dwt 275 000 tons

Loa 340 metros

Boca 61,00 metros

Lpp 321,00 metros

Calado máximo 20,50 metros

Vento inexistentes

Corrente lateral 1,00 m/s

Inicialmente, calculamos o *bollard pull* necessário, com base no deslocamento e, a seguir, avaliamos a influência da corrente.

$$\text{Bollard pull} = 40 + (0,00001 \times 335\,000 \times 60) = 241 \text{ ton força}$$

Para calcularmos a influência da corrente, temos de saber qual a folga sob a quilha. Consideraremos, nesse caso, que operamos em águas profundas, então:

$$F = 0,031 \times 321 \times 20,5 = 255 \text{ ton força (acrescentando mais 25\% de fator de segurança)}$$

A força necessária para mover o navio devido ao seu deslocamento é menor do que a calculada para neutralizar o efeito da corrente, dessa forma, usamos 255 toneladas força o *bollard pull* adequado para a manobra.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve a intenção de abordar mais a fundo as características de cada rebocador, para assim, entendermos um pouco como funciona cada modelo e aprendermos um pouco como é feita a escolha do rebocador ideal para cada embarcação a ser assistida. Aqui estão alguns aspectos que são levados em conta pelo armador na hora de escolher o rebocador que irá assistir sua embarcação.

Através desse estudo foi possível compreender melhor a potência, efetividade e fatores que atrapalham o desempenho de um rebocador na hora de prestar assistência a uma embarcação.

REFERÊNCIAS

Gaston, M.J. **The tug book**. United kingdom, 2004.

SILVA, Otávio Augusto Fragoso. **Rebocadores portuários**. 1º Edição.

HENSEN, Henk. **Tug use in port: a practical guide**. 2º Edição, 2003.

FONSECA, M. MAURÍLIO. **Arte Naval**. 2º Edição, 2002.

<<http://www.hdantas.com.br/sulnorte/abais.asp>>

<<http://www.estaleirob3.com.br/produtos/rebocadores-e-offshore>>

<<http://www.rucker.ind.br/rucker/produto.jsp?idms=22&idProduto=1349276145263>>

<<http://www.naval.com.br/blog/2015/06/07/contratos-de-servicos-para-os-rebocadores-de-alto-mar-tridente-e-guillobel-em-pmg/>>

<<http://www.wilsonsons.com.br/servicos/rebocadores/>>

<<http://www.camorim.com.br/frota/rebocador-portuario-maritimo>>