

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

NATAN MALVARES TEIXEIRA

MANOBRA DO NAVIO: Uso de rebocadores

RIO DE JANEIRO

2014

NATAN MALVARES TEIXEIRA

MANOBRA DO NAVIO: Uso de rebocadores

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 (a): Prof. Edson Mesquita dos Santos.

RIO DE JANEIRO

2014

NATAN MALVARES TEIXEIRA

MANOBRA DO NAVIO: Uso de rebocadores

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: Prof. Edson Mesquita dos Santos

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, RUTH, por sempre estar ao meu lado em minhas decisões e por ter sido responsável por minha educação, sendo, portanto, definitiva para que eu fosse capaz de me tornar um Oficial da Marinha Mercante Brasileira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus familiares por terem sido a minha base da minha formação ética e moral, especialmente à minha mãe, Ruth, pois não mediu esforços a fim de me ver onde estou hoje. Agradeço também ao meu pai, Ronaldo, por ter me mostrado os prós e contras do militarismo, sendo, então, decisivo em minha escolha. Minha namorada, Marianna, tornou-se peça chave em minhas decisões, logo, torna-se razoável a ela prestar meus agradecimentos. Por fim, agradeço ao meu orientador, professor Mesquita, por ter-me mostrado o caminho na confecção de meu trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem por fim apresentar ao público diversos aspectos da análise de rebocadores, em si, e de seu papel no serviço de praticagem como um todo. Para tal, consideram-se características dos portos em que operam e descrevem-se os diversos modelos de cada embarcação e seu sistema propulsivo.

Palavras-chave: Rebocadores. Propulsão.

ABSTRACT

This Project comprises the presentation of different aspects concerning the assessment of tugs themselves and also of their role in pilotage servisse. Thus, a brief consideration of the characteristics of ports where tugs are used in and it is described the types of tugs and it's propulsion system.

Key-words: Tugs. Propulsion.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 O PROJETO	10
2.1 Diferença no projeto e métodos de assistência	10
2.1.1 Portos em desenvolvimento	10
2.1.2 Aproximação ao porto	10
2.1.3 Condições ambientais	11
2.1.4 Métodos de assistência utilizados	11
2.1.5 Experiência Disponível	11
2.1.6 Requisitos de segurança	11
3 TIPOS DE REBOCADORES PORTUÁRIOS	13
3.1 Classificações dos tipos de rebocadores portuários	13
3.2 Requisitos gerais de importância para um bom desempenho do rebocador	14
3.2.1 Desempenho e segurança	14
3.2.1.1 Tempo de resposta	14
3.2.1.2 Eficiência e segurança das operações	14
3.2.1.3 Espaço de manobra necessário	14
3.2.2 Layout e construção do passadiço	14
3.2.2.1 Visibilidade	14
3.2.2.2 Estações de manobra	15
3.2.2.3 Comunicação	16
3.2.3 Superestrutura do rebocador e formato de suas obras vivas	16
3.2.4 Defensas	17
3.2.4.1 Tipos de defensas	17
3.2.4.2 Material	18
3.3 Tipos convencionais de rebocadores	19
3.3.1 Design	19
3.3.2 Propulsão e leme	19
3.3.2.1 Propulsão e controle dos propulsores	19
3.3.2.2 Eficiência do propulsor e manobrabilidade	20
3.3.2.3 Tipos de lemes	21
3.3.3 Manobra com rebocadores convencionais	23
3.3.3.1 Rebocadores de eixo único	23

3.3.3.2	Rebocadores de eixo duplo	23
3.3.3.3	Manobra de rebocadores convencionais	24
3.4	Combi-Tugs	25
3.4.1	Manobra e formato de combi-tugs	25
3.4.2	Manobras com combi-tugs	26
3.5	Rebocadores tratores com propulsão cicloidal	27
3.5.1	Design	27
3.5.2	Princípio de funcionamento	28
3.5.3	Controle das unidades propulsoras	28
3.5.4	Manobra de um rebocador Voith-Schneider	29
3.5.5	Assistência de navios por rebocadores tratores Voith-Schneider	30
3.6	Rebocadores tratores com propulsão azimutal	31
3.6.1	Design	31
3.6.2	Controle dos propulsores	32
3.6.3	Manobra de um rebocador de propulsão azimutal	33
3.6.4	Assistência de navios por rebocadores tratores de propulsão azimutal	33
3.7	Rebocadores tratores-reversos	33
3.7.1	Design	33
3.7.2	Controle de hélices, capacidades de manobra e assistência aos navios	34
3.8	Rebocadores Azimuth Stern Drive (ASD)	35
3.8.1	Design	35
3.8.2	Controle de propulsão, manobrabilidade e assistência a navios	35
3.9	Desempenho de Rebocadores	36
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar a presente necessidade da utilização dos diversos tipos de rebocadores portuários, de acordo com a grande demanda mundial.

A crescente evolução na indústria marítima proporcionou a criação de navios de porte muito elevado, e, com isso, surgiu a necessidade de se desenvolver embarcações capazes de executar uma boa manobra.

Cada tipo de rebocador possui características únicas e este ensaio mostrará que cada modelo deve ser utilizado de maneira específica.

2 O PROJETO

2.1 Diferença no projeto e métodos de assistência

Um rápido desenvolvimento de rebocadores portuários tem sido observado nos últimos anos, juntamente com o desenvolvimento de navios em si. Ambos os fatores colaboram para que o número de rebocadores requeridos para cada manobra de atracação/desatracação seja reduzido. No entanto, tal redução proporciona uma maior dependência do(s) rebocador(es) que serão utilizados como assistência, e fatores como segurança não podem ser deixados de lado. Portanto, uma boa manobra do navio é essencial num reboque e, para tal, é necessário que se haja um rebocador mais versátil e uma tripulação bem treinada para as situações específicas de cada porto.

Os requisitos operacionais para o tipo de rebocador portuário utilizado é determinado de acordo com os seguintes fatores:

- a) Tipo de porto ou ancoradouro, aproximação e condições geográfico-ambientais do local;
- b) Tipos de navios que aos quais os rebocadores assistirão; e
- c) Os serviços utilizados no porto e em seu redor e, caso relevante, em estações offshore.

2.1.1 Portos em desenvolvimento

Durante o desenvolvimento de um novo porto, terminal ou bacia, é desejável que haja nos estudos de seu projeto a participação de práticos e de representantes de empresas desenvolvedoras de rebocadores. Dessa maneira, é possível que esses deem conselhos baseados em sua experiência na manobra do navio. Além disso, as empresas tomam conhecimento de novas tecnologias para a construção de uma embarcação de reboque que se encaixe com o porto em questão. Consultas regulares com autoridades portuárias, projetistas portuários, companhias de rebocadores e práticos irão facilitar a acessibilidade em portos e ancoradouros.

2.1.2 Aproximação ao porto

A aproximação dos navios está sob a influência do mar aberto e pode ser através de uma passagem larga ou estreita, com bancos de areia ou pedra, sinuosa ou reta. Dependendo do local, rebocadores podem ser usados na aproximação e ser capazes de trabalhar nas condições do mar, com fortes marulhos. Após o desastre ambiental com o navio petroleiro Exxon Valdez, houve um crescimento na procura por rebocadores para navios petroleiros e gaseiros na aproximação ao porto.

2.1.3 Condições ambientais

As condições geográfico-ambientais são muito importantes ao ponto de vista da empresa que gere rebocadores. A maioria dos antigos portos está situada em estuários de rios e está sujeita às influências de marés ou efeitos sazonais. Canais e rios estão sempre sujeitos a mudanças. Não obstante, diferenças na profundidade da água, passagens por pontes e eclusas requerem uma manobra mais complicada de se realizar. Os rebocadores devem guiar os navios de maneira segura e eficiente. Especialmente em tais portos, os requisitos para se utilizar o devido rebocador podem mudar constantemente entre a entrada ou aproximação ao berço e o atracadouro. A solução para esse problema é a utilização de rebocadores diferentes para as diversas etapas da rota.

2.1.4 Métodos de assistência utilizados

O método utilizado depende dos seguintes fatores:

- Porto, dique, traçado do terminal e/ou instalação offshore;
- Tipos de navio;
- Condições ambientais;
- Complexidade da navegação fluvial, em canais e aproximação ao porto; e
- Se haverá passagem por pontes ou eclusas;

O tipo de rebocador utilizado depende do método de assistência, assim como pode depender, também, da disponibilidade do(s) mooring boat(s) (embarcações que assistem o navio para a passagem das espigas para o cais). Quando não há mooring boats disponíveis, o navio deve ser levado até a proximidade do berço ou até a seu lado para ser capaz de passar as espigas. Em tais circunstâncias, os rebocadores devem ser capazes de empurrar pela lateral do navio.

2.1.5 Experiência disponível

Práticos e comandantes estão acostumados com os métodos utilizados no porto e ao tipo de rebocador utilizado, conhecendo-os muito bem. A implantação de um novo sistema pode criar dificuldades, e, portanto, deve ser elaborada com cuidado. Um novo tipo de rebocador pode trabalhar de maneira totalmente diferente do atual, sendo necessário treinamento e instrução de toda sua tripulação.

2.1.6 Requisitos de segurança

A assistência através de rebocadores inclui diversos riscos ao próprio rebocador e à sua tripulação. Entretanto, tais riscos podem ser minimizados de acordo com um bom treinamento e com um rebocador bem desenvolvido e equipado. Dependendo do tipo de porto, das

condições ambientais, das embarcações que necessitarão de assistência, dos métodos de assistência utilizados e das regulamentações do porto, os requisitos de segurança podem ser diferentes de porto a porto. Os proprietários de rebocadores devem sempre providenciar o mais alto nível de segurança, de acordo com a necessidade de cada rebocador. Os requisitos dizem respeito a: potência, equipamento de reboque, defensas, manobrabilidade e superestrutura.

3 TIPOS DE REBOCADORES PORTUÁRIOS

3.1 Classificações dos tipos de rebocadores portuários

Os tipos de rebocadores são nomeados através de suas principais características, sendo estas:

- a) Tipo de propulsão;
- b) Local da propulsão na embarcação;
- c) Método de fabricação; ou
- d) Sistema de governo.

Os nomes incluem:

- a) Rebocadores convencionais;
- b) Rebocadores Voith-Schneider;
- c) Rebocadores Z-peller;
- d) Rebocadores de tubulão Kort; e
- e) Rebocadores tratores, entre outros.

Não há um sistema de nomeação uniforme, o que pode ser confuso. Por exemplo, quando se fala de um rebocador Z-peller, o que se quer dizer? Trata-se de um rebocador com propulsão azimutal com propulsores a vante ou a ré? Não parece haver muita diferença, mas considerando-se o desempenho do rebocador quanto ao rendimento da assistência, há muita diferença, no entanto. Afinal, é para isso que os rebocadores foram criados – para realizar a assistência da melhor maneira possível. Será visto posteriormente que é mais fácil classificar os rebocadores de acordo com a posição dos propulsores e os pontos de atuação.

Nomeando-se rebocadores dessa maneira, há apenas duas classificações principais, que podem ser agrupadas da seguinte maneira:

- a) Rebocadores com sua propulsão a ré e ponto de atuação aproximadamente a meia nau. São os rebocadores convencionais;
- b) Rebocadores com sua propulsão a vante e seus pontos de atuação a ré. São chamados de rebocadores tratores.

A essa categoria pertencem:

- Rebocadores tratores com propulsão cicloidal;
- Rebocadores tratores com propulsão azimutal.

Há tipos intermediários de rebocadores que podem ser classificados tanto como convencionais quanto como tratores. São estes:

- a) Rebocador trator-reverso – rebocadores com propulsão azimutal a ré e ponto de atuação a vante, construído para operar principalmente por sua proa, enquanto rebocadores tratores operam principalmente por sua popa.
- b) Rebocadores ASD (Azimuth Stern Drive). Esses são rebocadores multipropósito, com propulsão azimutal a ré, construídos para operar por sua proa, como um trator reverso, assim como por sua ré, como o rebocador convencional, sendo, portanto, muito versáteis.

3.2 Requisitos gerais de importância para um bom desempenho do rebocador

3.2.1 Desempenho e segurança

3.2.1.1 Tempo de resposta

Rebocadores portuários devem ter um curto tempo de resposta sua manobrabilidade deve ser tal que o rebocador possa reagir em um período mínimo de tempo. É de suma importância que medidas sejam tomadas para aumentar sua manobrabilidade e reduzir seu tempo de resposta. Ou seja, não somente um curto tempo de resposta é necessário ao se assistir uma embarcação, mas também é necessário fazê-lo de maneira rápida.

3.2.1.2 Eficiência e segurança das operações

Não somente a manobrabilidade, mas também o bollard pull (referente à potência) e o formato das obras vivas são o que fazem o rebocador de fato eficiente e, sobretudo, o tipo certo de rebocador para a tarefa em questão. Sua estabilidade e versatilidade quanto ao equipamento de reboque também são importantes de se ter o conhecimento.

3.2.1.3 Espaço de manobra necessário

O espaço necessário para se realizar uma boa manobra com um rebocador deve, dependendo da situação, ser o menor possível. Pode-se conseguir tal façanha através de um rebocador com boa manobrabilidade, dimensões discretas e um equipamento de reboque adequado.

3.2.2 Layout e construção do passadiço

3.2.2.1 Visibilidade

O passadiço de um rebocador deve ser construído e se localizar de maneira que, na estação de manobra, o comandante do rebocador tenha um bom ponto de vista de suas proa e popa e de seus dois bordos. Ademais, o comandante deve ter uma boa visão de(o)(a)(s):

- a) Equipamento de reboque;
- b) Convés onde se realiza a manobra;
- c) Áreas de contato entre o navio e o rebocador;
- d) Navio assistido;
- e) Outros rebocadores envolvidos na manobra; e
- f) Direção da operação

O ângulo de visão deve ser o mais próximo possível de 360°. Passadiços eficientes também devem possuir pequenas janelas voltadas para cima, importantes para que o comandante do rebocador tenha uma boa visão caso o navio assistido possua um alto castelo de proa ou tombadilho ou tenha uma grande borda livre.

3.2.2.2 Estações de manobra

Enquanto o rebocador auxilia alguma embarcação, seu comandante deve ser capaz de, em uma olhada rápida de sua estação, ter a maior quantidade possível de informações disponíveis a respeito do navio assistido, sem a necessidade de deixar a estação de manobra e sem terminar a faina com problemas ergonômicos. As informações mais importantes vem de(o)(a)(s):

- a) Cabo(s) de reboque, sua tensão e direção;
- b) Navio rebocado. As informações vitais são: marca de proa e velocidade, distância do rebocador ao navio rebocado e como o rebocador reage ao aplicar sua força. Quando a manobra trata-se de empurrar o navio, ou seja, há o contato físico entre as duas embarcações, deve-se ter informações a respeito da área de contato; e
- c) A resultante dos movimentos do navio-rebocador no que tange a canais ou vias navegáveis, tráfego nas redondezas e a bancos e berços próximos.

Dependendo do tipo de rebocador e do método de assistência utilizado, tais informações podem vir de direções completamente opostas e podem mudar durante a manobra de reboque. No rebocador trator-reverso, cuja assistência parte de sua proa, quase toda informação essencial vem de vante e deve ser de possível visualização de dentro da estação de manobra. Isso pode ser realizado com um painel voltado para vante. Se a estação for bem introduzida no rebocador, seu comandante pode ter uma visão desobstruída da manobra.

Os tipos de rebocadores restantes, no entanto, em geral, têm requisitos de visão completamente diferentes. No caso, por exemplo, do rebocador trator, sua área de atuação é a popa do rebocador. Logo, no exemplo dado acima, o painel de manobra deve ser voltado para a ré, mas em modo free sail, deve haver um painel voltado para vante.

Portanto, é interessante, num rebocador portuário, que haja um painel de manobra central, capaz de ser operado nas duas direções, a vante e a ré.

Em outros rebocadores, mais painéis de manobra podem ser necessários, dependendo do tamanho do passadiço e de sua construção. Alguns rebocadores portuários têm até três painéis voltados para vante e um voltado para sua ré. É necessário o devido cuidado para que não haja riscos de erros ou falhas durante a manobra. Ademais, os controles dos painéis de manobra devem ser dispostos de modo que possam ser operados de maneira lógica, de acordo com a direção do movimento do rebocador. Por exemplo, virar um manche para a esquerda deve fazer com o que o rebocador guine para bombordo. Qualquer maneira ilógica ou complexidade ao se controlar os painéis serão propensas a resultar em erro humano.

Nas estações de manobra, o comandante deve ter uma boa visão de seus instrumentos, incluindo o radar. Sistemas de comunicação e rápida soltura devem estar sempre ao seu alcance nos painéis de manobra. Um controle dos guinchos das amarras a partir do passadiço também é recomendado para os rebocadores. A extensão dos cabos de reboque podem ser, então, ajustadas, quando necessário, sem que alguém da tripulação precise ir ao guincho da amarra. Devido a isso, o número de tripulantes, hoje em dia, é reduzido.

3.2.2.3 Comunicação

A cooperação entre o práctico e o comandante do rebocador é um requisito básico para a segurança e a eficácia da manobra com rebocadores. Tal cooperação é possível somente quando são postos em prática os corretos procedimentos e há uma comunicação eficiente entre ambas as partes. Sistemas de radiocomunicação a bordo de rebocadores devem ser, sobretudo, confiáveis. Um disposição dupla de VHF (Very High Frequency) é altamente recomendada.

3.2.3 Superestrutura do rebocador e formato de suas obras vivas

Rebocadores normalmente trabalham próximos da proa ou da popa do navio rebocado, onde, dependendo do navio, a forma do costado é tal que, torna possível o contato entre o costado do navio e a superestrutura do rebocador. Tendo em vista tal afirmativa, conclui-se que a superestrutura do rebocador deve se localizar no centro da embarcação para que danos devido a contato sejam evitados.

O formato das obras vivas de um rebocador deve ser elaborado de maneira que as unidades de propulsão não toquem o casco do navio quando este está sendo rebocado. Rebocadores devem ser capazes de assistir todo tipo de embarcação, incluindo submarinos em alguns portos. Seus propulsores podem tocar o casco do submarino quando um rebocador o está tracionando através de contato. Neste caso, deve ser utilizado o rebocador de apenas um eixo.

3.2.4 Defensas

Rebocadores devem ser equipados com boas defensas, que, utilizadas corretamente, protegem de danos tanto o navio assistido quanto o rebocador envolvido na manobra, e ainda reduzem a tendência de deslizamento do rebocador no costado do navio quando há certo ângulo durante o contato.

Defensas são constituídas de borracha natural ou sintética. O material utilizado deve ser resistente a:

- a) Água poluída;
- b) Ozônio;
- c) Radiação UV (Ultra Violeta);
- d) Altas e baixas temperaturas; e
- e) Choques térmicos.

Durante a escolha de um sistema de defensas, os seguintes fatores devem ser observados:

- a) Maneira que o rebocador assiste as embarcações: com cabo passado ou através do sistema push-pull, onde há o contato direto entre as duas embarcações;
- b) Tamanho e a potência do rebocador, que são importantes fatores para o se determinar qual será a troca de energia entre as embarcações;
- c) Tamanho da área de contato, no caso do sistema push-pull;
- d) Tipo e tamanho das embarcações a serem escoltadas;
- e) Condições ambientais do local de atuação do rebocador, como exemplo ondas e marulhos. Essas condições darão um aumento a forças sofridas pelas defensas e devem ser compensadas; e
- f) Construção da proa e da popa da embarcação.

3.2.4.1 Tipos de defensas

A variedade de defensas para rebocadores varia grandemente. Dentre os principais tipos, destacam-se:

- a) Extruded: produzida em diferentes comprimentos e possui uma grande variedade de perfis e tamanhos, como exemplo: perfil de formato em D, retangular, cilíndrica ou sólida. Pode ser pré-moldada para que caiba na proa ou na popa do rebocador. São muito flexíveis;
- b) Sistema moldado ou defesa em bloco: Oferece muitas das vantagens da defesa extruded, e ainda permite uma fixação mais segura e maior facilidade de reparo, pois os blocos individuais podem ser substituídos;
- c) Weldable: Utilizada somente quando é requerida uma grande fixação;
- d) Pneus reforçados de caminhões e aeronaves: São cortadas para atender um tamanho específico e comprimidas em suportes de hastes metálicos. Servem como

defensas de proa, popa ou bordos. Possui uma grande habilidade de absorção e é bastante macia

- e) Foam-filled: Cheia por espuma; e
- f) Pneumática.

A proa e a popa de um rebocador podem ser equipadas com defensas horizontais, como exemplo as do tipo extruded de perfil cilíndrico, ou com defensas em bloco do tipo vertical. A combinação de tipos diferentes de defesa é muito utilizada.

No caso particular de assistência de navios de guerra com costados de cor clara, devem-se usar acessórios nas defensas para evitar que a borracha os manche. As mais utilizadas são as defensas de cabo de manilha e as defensas de borracha cinza.

Defensas de proa devem possuir grande área de contato e raio, a fim de reduzir a pressão no costado do navio. O mesmo se aplica à defesa de popa de rebocadores do tipo trator-reverso, pois esse último empurra com sua popa. Pneus são adicionados geralmente às defensas com a finalidade de protegê-las e aumentar a área de contato, além de serem usados ao longo do costado do rebocador, pois são de fácil remoção, caso danificados.

3.2.4.2 Material

O material da qual a defesa de proa ou popa é feita deve ter um grande coeficiente de atrito a fim de manter a proa ou a popa em sua posição enquanto o rebocador está empurrando o costado de um navio sob certo ângulo. Caso a defesa não possua um coeficiente de atrito adequado, sua vida útil diminuirá. Por outro lado, as defensas laterais devem possuir um baixo coeficiente de atrito. Uma maneira de se evitar danos às defensas laterais é o uso de uma camada de polietileno do tipo UHMW, que possui um baixíssimo coeficiente de atrito.

Tipos específicos de defensas podem utilizar lubrificação por meio d'água para que se reduza a fricção entre o rebocador e o navio e assim reverter prejuízos. Esse tipo de defesa pode ser encontrado no porto de Hong Kong.

A altura da defesa de um rebocador acima da linha d'água também é um fator a ser considerado. Quando um rebocador empurra em ângulo a lateral de um navio, forças hidrodinâmicas criam uma banda. É evidente que, quanto maior altura da defesa de proa acima da água, maior será o momento de banda criado, sendo conveniente que as defensas estejam em pouca altura, até mesmo abaixo do plano de flutuação.

Rebocadores portuários escoltando submarinos também devem possuir defensas abaixo do plano de flutuação, para que seja evitado o dano devido ao contato entre o rebocador e o casco do submarino. Ademais, o costado de um ASD ou trator-reverso deve ser expandido nas alhetas e bochechas para assegurar que os tubulões dos propulsores azimutais dos rebocadores jamais entrem em contato com o submarino a ser rebocado.

3.3 Tipos convencionais de rebocadores

3.3.1 Design

A maioria dos rebocadores utilizados ainda pertence a esse grupo. Eles podem ser vistos ao redor do mundo e são construídos em larga escala. Rebocadores convencionais são usados para assistências do tipo push-pull, reboque ao longo do costado do navio e, em portos europeus, reboque em linha.

Há uma grande variedade de rebocadores, sendo que o mais simples deles tem apenas um eixo e um leme. Entretanto, em decorrência do ponto de reboque, esses rebocadores possuem uma grande limitação quanto à segurança e ao desempenho. Quando guiado em linha, há um grande risco de emborcamento (girting), embora um guincho com um sistema de desengate rápido reduza o risco. Isso se deve pelo fato de o rebocador não conseguir operar em altas velocidades.

O ponto de reboque se localiza, em média, a 45% do comprimento do rebocador medido no plano de flutuação (Load Waterline Level ou LWL) a partir da ré.

3.3.2 Propulsão e leme

3.3.2.1 Propulsão e controle dos propulsores

Quase todos os rebocadores são equipados com motores a diesel, o que os torna capazes de atingir médias ou altas velocidades de rotação. Para os motores que trabalham com altas rotações, torna-se necessário a introdução de caixas de redução que adequam-se ao propulsor.

Para se reverter o passo do hélice, são utilizados os seguintes sistemas:

- a) Reversão direta: Alguns rebocadores podem ser controlados do próprio passadiço, enquanto outros são controlados na própria casa de máquinas. O número de manobras é limitado devido à quantidade de ar necessário para sua ignição. O tempo de resposta varia de rebocador para rebocador;
- b) Reversão em sistemas de propulsão diesel-elétricos: O motor a diesel alimenta geradores que, por sua vez, alimentam motores elétricos que, por fim, alimentam os propulsores. Sistemas de fácil controle do próprio passadiço. Possuem a grande vantagem de um tempo de resposta muito curto, porém, é um sistema caro, com altos custos iniciais e manutenção ainda mais cara, se comparado com outro sistema; e
- c) Reversão em sistema motor diesel-caixa de redução-acoplamento pneumo-hidráulico: Tipo de rebocador mais comum utilizado nos dias atuais, pois representa, além de um gasto inicial e de manutenção mais baixos, possui um curto tempo de resposta.

Os sistemas com caixas de reversão são utilizados apenas em embarcações com hélices de passo fixo, pois, para o caso de embarcações com hélices de passo controlável, basta reverter o sentido das pás.

Problemas quanto ao torque podem surgir em propulsores de passo fixo, ao se reverter seu sentido de rotação, durante altas velocidades. Esses problemas, no entanto, podem ser resolvidos com um bom design (combinação entre motor, propulsor e engrenagens). Em certos casos, é possível usar freios de eixo em conjunto com o freio motor.

As rotações do motor e o passo do propulsor são controlados remotamente do passadiço. Manobrar com hélices de passo controlável é bastante suave, principalmente com o mecanismo combinator control, que regula as rotações de acordo com o passo do hélice. Já o passo do hélice é controlado por um sistema hidráulico. A manutenção de todo o sistema torna-se primordial, pois qualquer problema no sistema hidráulico ou de controle remoto pode causar sérios danos ao rebocador, ao navio ou ao berço. Os sistemas mais modernos de controle de passo possuem sistemas de backup.

3.3.2.2 Eficiência do propulsor e manobrabilidade

Os propulsores de rebocadores convencionais podem ser abertos ou protegidos por tubulões. Na posição full astern, um propulsor aberto de passo fixo desenvolverá 60% da tração máxima na posição full ahead. Um propulsor aberto de passo controlável, na mesma condição do anterior, desenvolverá apenas de 40 a 45% da tração máxima na posição full ahead. Isto se deve ao formato do bossô do propulsor, no hélice de passo fixo, a posição das pás não se altera, enquanto no de passo controlável, isso ocorre, mudando a posição das pás em relação ao bossô.

Tubulões aumentam a tração e, conseqüentemente, o bollard pull do rebocador significativamente. Seus efeitos são mais nítidos em velocidades menores. A tração é aumentada entre 15 e 25%.

Muitos tipos de tubulões têm sido criados enquanto pesquisas continuam a ser feitas. O tipo mais comum de tubulão é o modelo 19A, devido ao seu custo-benefício e garante maior eficiência se utilizado com máquinas a vante. O modelo 37, também conhecido como backing nozzle, foi desenvolvido para dar mais eficiência com máquinas a ré, contudo, com máquinas a vante, sua perda de eficácia em relação ao outro dispositivo é mínima. Há também o tubulão Hannan Ring, cuja tração a ré chega a 70% de sua tração a vante com pás adaptadas. Com pás normais, essa relação varia entre 60 e 65%.

Os três tubulões acima citados e suas variantes foram criadas para trabalhar com propulsores azimutais, tanto com hélices de passo fixo quanto hélices de passo variável.

Outro modelo de tubulão é o Nautican, que também se utiliza de propulsão azimutal. Este, ao se comparar com os modelos 19A, 37 ou Hannan Ring, possui uma eficiência muito maior, de aproximadamente 8% em se tratando de bollard pull, enquanto seu desempenho a ré

é melhor que o do modelo 19A, porém não maior que o do modelo 37. Todavia, esse tipo de desempenho não é, de fato, relevante quando se trata de propulsores azimutais.

O efeito da adição de tubulões é semelhante ao aumento da área lateral resultante da instalação de skegs, por exemplo. Dessa maneira, utiliza-se de maneiras para compensar essa perda de manobrabilidade, através de sistemas especiais de leme ou equivalente:

- a) Tubulões aumentam a eficiência do propulsor e diminuem sua capacidade de governo. Entretanto, a diminuição da manobrabilidade do rebocador não representa de fato uma grande desvantagem, pois os rebocadores não trabalham com altas velocidades. Com propulsão azimutal, torna-se possível a movimentação dos tubulões, tornando a embarcação melhor manobrável em comparação com o leme apenas. Ângulos de leme não ultrapassam 30° devido à tração lateral;
- b) Tubulões azimutais com flancos móveis, que são espécies de lemes fixados na extremidade posterior do tubulão, representam um ganho significativo de manobrabilidade. Esse ganho é mais expressivo em rebocadores com 2 propulsores; e
- c) Há três tipos de lemes que colaboram com um ganho de manobrabilidade:
 - Lemes tipo spade;
 - Lemes compensados; e
 - Lemes semicompensados.

Em todos eles, o bordo de ataque localiza-se por ante-a-vante da madre do leme. Isso significa, de modo geral, maior eficiência propulsiva e menor conjugado de forças, o que possibilita uma diminuição das dimensões do aparelho de governo. Por outro lado, lemes ordinários diminuem a eficácia do propulsor e, conseqüentemente, precisam de maior aparelho de governo.

3.3.2.3 Tipos de lemes

A manobrabilidade de rebocadores convencionais pode ser aumentada de acordo com o tipo de leme utilizado. Há vários sistemas de lemes em uso atualmente, cada qual com sua própria característica, como:

- a) Lemes com flap móveis: Nesta categoria há lemes de diferentes fornecedores, como exemplo Becker, Barke, Ulstein, Jastram e Promac Stuwa. 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. Sua velocidade pode ser diminuída rapidamente. No repouso, o rebocador pode quase girar em torno de um eixo;

- b) Lemes Schilling: Encontrados em novos rebocadores, não possuem partes móveis, porém apresentam placas-guia nas partes inferior e superior do leme, a fim de se aperfeiçoar o fluxo nos bordos. 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°. Contudo, o leme, nessa condição, funciona mais como um thruster lateral. Com máquinas atrás seu desempenho também é superior ao de lemes convencionais. Existem dois modelos de leme Schilling: o Shilling Monovec, que possui apenas um leme e torna o giro em torno de um eixo quase possível, e o Shilling VecTwin, que são dois lemes usados a ré do propulsor e tornam sua manobrabilidade muito maior. O leme Schilling VecTwin possui em cada leme um eixo independente, podendo criar entre si um ângulo de 40 a 105°. A tração lateral máxima é alcançada com um ângulo de 70° entre eles. Possibilita a vetorização da tração em 360°, dispensando caixa reversora.
- c) Lemes de Flanco: Instalados a vante do hélice com uma inclinação em relação à linha de centro para um melhor direcionamento do fluxo com seguimento a ré. Com seguimento a vante, ficam a meio. São utilizados com tubulões fixos.
- d) Sistema Towmaster: Utilizado com tubulões fixos, sua configuração de lemes é disposta em formação de “veneziana”. Localizam-se a ré de cada hélice, porém podem ser encontrados a vante também, como no Leme de Flanco. A ré do tubulão normalmente encontram-se três lemes e a vante apenas dois. Seu alcance máximo pode chegar a 60%. O Sistema Towmaster garante uma boa tração e manobrabilidade a vante. A ré, seu desempenho é apenas 70% de seu desempenho a vante. O sistema é muito utilizado hoje em dia, e a sua desvantagem está ligada à sua complexidade.

Além dos tipos de lemes mencionados acima, há muitos outros sistemas, como diferentes tipos de fishtail ou o tipo de rebocador Scott T. Allen, com três lemes, na qual o leme do meio pode ser operado de maneira independente dos dois lemes laterais.

Bow Thrusters: A eficiência de um tunnel thruster não é tão grande quando o rebocador está em velocidades relativamente grandes. Com apenas dois nós de velocidade, a eficácia desse pode cair em até 50%. Rebocadores convencionais em geral são equipados com bow thrusters com capacidade de giro de 360°, pois são muito mais eficientes e podem operar em qualquer direção. Rebocadores com esse tipo de bow thruster é conhecido como combi-tugs.

3.3.3 Manobra com rebocadores convencionais

3.3.3.1 Rebocadores de eixo único

Há três aspectos de suma importância durante a manobra com um rebocador convencional de apenas um eixo:

- a) Localização de propulsor e leme a ré;
- b) O efeito transversal causado pelo hélice ao se dar máquinas atrás; e
- c) A baixa tração a ré.

Dar a volta em certo ponto só é possível com lemes de alta força de sustentação. Não é possível se realizar movimentos laterais em rebocadores de eixo único, nem mesmo com lemes de alta força de sustentação, embora seja possível se produzir movimentos laterais com lemes de alta sustentação com o auxílio de bow thrusters.

O efeito transversal (ou Paddle Wheel Effect ou Efeito de Roda Patinada, em tradução livre) é causado pela descarga na carena (na popa) quando o hélice está com seguimento atrás. Quase todos os rebocadores de eixo único são de passo direito, o que implica um giro no sentido horário, com máquinas a ré, para propulsores de passo controlável, porém um giro no sentido anti-horário, no mesmo regime de máquinas, para propulsores de passo fixo.

Para compensar esse efeito com o leme, o seguimento a ré não deverá ser pequeno. Apenas com seguimento razoável será possível trazer o rebocador a uma derrota reta. Como conclusão, podemos dizer que rebocadores de um eixo com seguimento a ré e baixa eficiência propulsiva nesse sentido terão baixa performance em máquinas a ré, devido à consequente incapacidade da embarcação para compensar o efeito transversal e manter-se em linha reta. Algumas das soluções que se podem propor constituem a utilização de lemes de flanco, sistema Towmaster ou tubulão móvel.

3.3.3.2 Rebocadores de eixo duplo

Rebocadores de eixo duplo (ou até triplo) são muito mais manobráveis do que os de eixo único. Eles podem girar em torno de pontos e moverem-se em linha reta com máquinas atrás. Guinar pode ser feito apenas revertendo-se o sentido de um dos hélices e mantendo o outro no mesmo sentido, enquanto aplica-se ao leme o ângulo de guinada necessário.

Rebocadores de eixo duplo, sendo de passo fixo ou controlável, são usualmente utilizados no regime inward turning – propulsor de bombordo sendo de passo direito e o de boreste, de passo esquerdo, exceto os que operam em altas latitudes, onde há muito probabilidade de se haver gelo no mar. A vantagem do regime inward turning é a maior eficiência da propulsão. A desvantagem, com hélices de passo fixo, é o diâmetro tático, pois o propulsor de boreste é de passo esquerdo, enquanto o de bombordo é de passo direito. Quando utilizados em conjunto, o efeito transversal dos eixos dificulta a curva pretendida.

Apresentam como vantagem a capacidade de mover-se lateralmente. Com dois eixos e a configuração inward turning, para mover o rebocador lateralmente para boreste, basta aplicar máquina a vante no propulsor de bombordo, a ré no de boreste e leme a bombordo. Com leme a meio, o rebocador tenderia a girar no eixo devido ao binário. Entretanto, ao aplicar-se o leme a bombordo, anula-se a tendência de rotação e sobra apenas a componente de tração perpendicular à linha de centro. Nessa manobra, a descarga transversal na água também contribui para uma aproximação lateral.

3.3.3.3 Manobra de rebocadores convencionais

Rebocadores convencionais são utilizáveis, em teoria, para todos os métodos de assistência, mas não são igualmente adequados 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.

Os rebocadores são também proibidos de, quando efetuando o reboque pela proa, passarem para os bordos ainda com os cabos passados. Esse tipo de capacidade seria desejável na aproximação de um berço, por exemplo. Mudar o modo pull para o modo push poderia ser possível, porém apenas caso empurrassem com sua popa. 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.

Para operações em um dos bordos do navio, um rebocador convencional poderia empurrá-lo, mas esta não é a maneira mais eficiente de se realizar a manobra devido à sua tração de popa. Configurações específicas de leme, como sistema Towmaster, por exemplo, incrementará a tração de popa. 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. Medidas adicionais devem ser tomadas, com um cabo da popa do rebocador ao navio para mantê-lo escoltando-o na melhor direção possível. Um bow thruster não é capaz de melhorar a situação, pois as forças que causariam derivação da direção de operação aplicam-se na popa, mas não na proa do rebocador.

No caso de rebocadores convencionais com dois eixos incluídos nas demandas anteriores, esclarece-se que poderiam manter-se em posição, mas que, para tal, demonstrariam

um déficit de eficiência em comparação com um rebocador realmente adequado para a operação.

3.4 Combi-Tugs

3.4.1 Manobra e formato de combi-tugs

Conforme discutido anteriormente, a manobrabilidade de rebocadores convencionais de apenas um eixo pode ser melhorada através do uso de lemes de alto poder de sustentação. Todavia, a desvantagem de muitos rebocadores de eixo simples sem tubulões direcionáveis, sistema Towmaster e/ou lemes de flanco, é que mover-se em linha reta com máquinas atrás é de difícil realização e nenhum rebocador de eixo simples pode mover-se lateralmente, a menos que possua um tunnel thruster em conjunto com lemes de alta sustentação. Além disso, o poder do regime de máquinas a ré de rebocadores com eixo simples é baixo, a menos que este seja equipado com um leme e/ou um sistema propulsor especiais, o que garantiriam sua eficiência.

Ao se instalar um bow thruster com liberdade de movimento de 360°, também conhecido como bow thruster azimutal, essas desvantagens podem ser superadas. Rebocadores equipados com tais tipos de bow thruster também são conhecidos como combi-tugs. O primeiro combi-tug surgiu no começo dos anos 1960.

Um rebocador equipado com esse tipo de bow thruster pode girar sobre um eixo, locomover-se em linha reta com regime de máquinas a ré com uma boa velocidade e mover-se lateralmente também. Apontar o bow thruster na mesma direção da propulsão principal aumenta o bollard pull do rebocador e aumenta sua velocidade máxima. Na maioria dos casos, este tipo de bow thruster é equipado um tubulão e pode ser fixo ou retrátil. Um bow thruster azimutal com tubulão abaixo da quilha, em contraste com o tunnel bow thruster alcança alta eficiência em muitas direções, até mesmo quando o rebocador está se movendo rapidamente. Isso possibilita um aumento adicional em sua manobrabilidade.

Como exemplo, um bow thruster azimutal de 400 hp pode aumentar a velocidade máxima de um rebocador de 27 metros de comprimento e motor de 1500 bhp em meia nó. Somente com o bow thruster funcionando, uma velocidade de, aproximadamente, 5 nós pode ser alcançada. A força de reboque do rebocador é aumentada em 5 toneladas se a propulsão principal e o bow thruster trabalharem em conjunto, atuando na mesma direção. Isso tudo colabora com uma maior manobrabilidade.

Para rebocadores mais antigos, esta é uma maneira satisfatória e barata de se melhorar a suas manobrabilidade e o bollard pull. O rebocador San Pedro foi equipado com um bow thruster de 600 bhp, o que causou uma melhoria em seu bollard pull de 40%, de 25 a 35 toneladas e melhorou suas capacidades de manobra.

Caso o bow thruster não seja utilizado, aumenta-se a resistência com a água, gerando uma perda de eficácia. Esta é uma das razões pela qual há muitos bow thrusters retráteis. Em

águas rasas, os tipos retráteis se fazem necessários. É necessário o devido cuidado ao utilizar-se de bow thrusters azimutais quando a lazearia é pequena, o tipo retrátil torna-se a melhor opção. Um bom sistema de alarmes quando a profundidade da água não for o suficiente para a passagem da embarcação é altamente recomendada.

3.4.2 Manobras com combi-tugs

Combi-tugs podem escotar como rebocadores convencionais, ainda possuindo algumas vantagens:

- a) Maior velocidade máxima;
- b) Maior bollard pull; e
- c) Maior manobrabilidade.

Sua versatilidade também é acrescida, podendo operar tanto a vante (como um rebocador convencional), quanto a ré. Sob o aspecto da segurança, têm vantagem, pois sofrem menor risco de emborcar e têm menor tempo de resposta devido à maior manobrabilidade. Além de poderem trabalhar na popa, podem fazê-lo a relativamente altas velocidades do navio assistido, graças ao bow thruster azimutal e um olhal ou suporte móvel, que traz seu ponto de tração mais para a ré. Partisse o cabo de reboque de um ponto a 45% do comprimento a partir da popa, como nos rebocadores convencionais, as chances de emborcamento o impediriam de operar em tal posição. Na condição de ponto de atuação na popa, uma gob rope (passando por um olhal ou fairlead assentada sobre um suporte giratório) apresenta em seu chicote uma manilha que permite conexão com o cabo de reboque.

Os combi-tugs podem operar com a popa voltada para a popa do navio e cabo gurnindo pelo ponto de reboque a ré. Nessa posição, sua função é controlar a velocidade de um navio com até 8 nós de seguimento a vante. Para que isso seja possível, tanto o bow thruster azimutal, quanto o hélice a ré devem estar em máquina a vante. Quando da aproximação, a alta manobrabilidade desse tipo de rebocador permite-lhe passar os cabos mesmo em movimento, com navio a 7-8 nós de velocidade.

Outra possibilidade é assistir na manobra do navio. Devido à configuração análoga àquela de rebocadores tratores – quando utilizando o ponto de tração a ré –, os combi-tugs podem operar no método indireto na popa do navio. De acordo com esse método, a posição oblíqua do rebocador em relação ao fluxo d'água faz aparecer uma força hidrodinâmica de sustentação que, por sua vez, gera um acréscimo de tração no cabo do reboque.

Conforme diminui o seguimento do navio, diminuirá também a eficiência do rebocador em tal posição, devido à queda de sustentação no casco em condições de fluxo mais lento. Por isso, recomenda-se o método indireto somente a partir de um limite inferior de velocidade, abaixo do qual operar no método direto é mais eficaz. Passando a operar no método direto, o combi-tug irá, então, soltar a gob rope ou desgurnir o cabo da fairlead, voltando à configuração de ponto de tração característica de um rebocador convencional. Observa-se que sempre que houver fortes ventos de través ou correntes, será preferível operar

desde o início como rebocador convencional usando máquinas com toda força a vante. Se necessário, o azimutal pode ser empregado para aumentar o bollard pull.

A transição entre os dois métodos de assistência citados acima é possível durante a assistência, mesmo se o navio tiver seguimento.

Resumindo, as vantagens e desvantagens dos combi-tugs são sucintamente numeradas a seguir:

- a) Operam bem como rebocadores de popa, com cabo passado, mesmo durante longas viagens, tanto para controle de velocidade quanto para auxílio na manobra;
- b) Apesar de poderem operar nos bordos do navio (método push-pull), apresentam ainda muitas das desvantagens dos rebocadores convencionais. Empurrando com a proa no costado, tem ainda boa eficiência, pois o bow thruster é usado apenas para fixar a proa em posição. Quando o ponto de contato é na popa, o bow thruster azimutal, então na extremidade oposta ao costado, mostra-se pouco potente para propelir o rebocador de forma que consiga acompanhar o navio. Além disso, próximo demais do costado, o hélice fica eclipsado e perde grande parte de sua utilidade devido à deficiência de fluxo incidente; e
- c) Em particular, quando rebocando pela proa, sua eficiência é baixa.

3.5 Rebocadores tratores com propulsão cicloidal

3.5.1 Design

Rebocadores tratores têm sua propulsão sob o corpo de proa da embarcação. Aqueles com propulsão cicloidal, ou sistema de lâminas, são chamados Voith-Schneider ou Voith tugs (VS tugs). O primeiro protótipo de propulsor vertical foi criado em 1920, mas este tipo de propulsão só começou a ser, de fato, conhecido durante os anos 50, após o rebocador de propulsão cicloidal criado por Wolfgang Bear, funcionário da empresa Voith. Muitas das limitações dos rebocadores convencionais foram eliminadas com o advento deste novo conceito de sistema de propulsão, conhecido como Voith Water Tractor.

O sistema de propulsão cicloidal é, na realidade, um tipo de hélice de passo controlável. O motor funciona a rotações por minuto (rpm) e magnitude de tração constantes, sendo a direção da força de tração controlada do passadiço. Diferentes configurações de rpm podem ser selecionadas. O sistema de propulsão Voith-Schneider para rebocadores consiste de duas unidades com lâminas verticais cuja direção de atuação da força de tração poder ser regulada uniformemente em 360° com tempo de resposta praticamente nulo. Há uma placa de proteção para as lâminas que funciona como uma espécie de tubulão, e que ainda aumenta sua eficiência. Durante uma manobra de docagem, o rebocador permanece sobre as placas de proteção e o skeg.

O grande skeg é típico de rebocadores tratores e, em particular, de rebocadores do tipo Voith-Schneider, garantindo uma boa estabilidade e movendo o centro da pressão hidrodinâmica mais para a ré da embarcação, o que representa grande vantagem tanto à segurança, quanto ao desempenho do rebocador, ao se escoltar em linha, principalmente ao se rebocar pela ré da embarcação assistida e a altas velocidades.

O guincho de reboque localiza-se a ré do rebocador, podendo ser apenas um gancho de escolta. O ponto de atuação, por onde é passado o cabo de reboque, situa-se próximo da popa e, geralmente, acima do centro do skeg. Seu casco deve ser relativamente largo e achatado a fim de que haja espaço o suficiente para as duas unidades de propulsão. VS tugs devem possuir um bom sistema de defensas, especialmente em sua popa, usada na maioria das manobras do tipo push.

Grande parte dos rebocadores modernos possuem pequenos passadiços, porém com boa visibilidade. O mesmo se aplica aos rebocadores VS. Seu passadiço geralmente possui um painel de manobra para o controle dos propulsores.

3.5.2 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do propulsor de um rebocador Voith-Schneider baseia-se em várias hastes dirigidas para o centro de manobra (N). As hastes são conectadas às lâminas verticais. O centro móvel N pode ser removido do centro fixo O por meio de dois cilindros hidráulicos, um longitudinal e outro transversal. A direção e o sentido da força de tração dependem da posição do centro de manobra N. Quando ele coincide com o centro geométrico da circunferência em que as lâminas estão dispostas, não há thrust. Removendo-se N do centro da circunferência, pode-se obter thrust em qualquer direção e sentido, combinando o efeito de sua posição no eixo das ordenadas e das abcissas. A direção nominal da força de tração será sempre perpendicular à linha ON, e sua intensidade, determinada pela distância entre os mesmo dois pontos.

O calado máximo, incluindo os propulsores e as placas de proteção, de um rebocador VS é relativamente maior do que os de rebocadores convencionais devido ao peso dos propulsores, sua localização e suas dimensões. A localização das unidades de propulsão é de aproximadamente $0.25 \times 0.3 \times \text{LWL}$ (comprimento do rebocador medido no plano de flutuação - Load Waterline Level) a partir da proa. O ponto de atuação está a $0.1 - 0.2 \times \text{LWL}$ a partir da popa, embora essa posição varie em decorrência dos requisitos operacionais.

3.5.3 Controle das unidades propulsoras

Direção, sentido e magnitude da força de tração do propulsor são controlados remotamente do passadiço. O controle remoto pode ser operado mecanicamente por um sistema de hastes muito confiável para rebocadores e ainda melhor quando a distância

passadiço-propulsores é pequena. Com grandes distâncias, e quando muitos dispositivos de manobra são instalados, é recomendada a utilização de outro sistema de controle remoto, como, por exemplo: Controle hidráulico, pneumático, elétrico e até mesmo controles remotos computadorizados com joystick são soluções alternativas.

O thrust transversal é controlado pelo volante e o thrust longitudinal, por alavancas. Por isso, a configuração da tração é a resultante entre o thrust transversal e o longitudinal. A direção transversal tem prioridade sobre a direção longitudinal. Quando todo o thrust transversal for usado, não haverá thrust longitudinal disponível, mesmo que sua alavanca seja colocada na posição desejada. Conclui-se disso que não é possível a utilização de 100% de uma das forças de tração em uma direção.

As duas unidades de um rebocador Voith-Schneider podem ser controladas independentemente ou conjuntas para um thrust longitudinal, mas somente em conjunto para um thrust transversal.

3.5.4 Manobra de um rebocador Voith-Schneider

Rebocadores tratores VS são altamente manobráveis, podem girar em torno de um eixo, demandam uma alta quantidade de thrust em qualquer direção e navegam com máquinas atrás em linha reta e em alta velocidade. A tração no regime de máquinas atrás é praticamente igual àquela no regime de máquinas adiante. Muitas das desvantagens de rebocadores convencionais – especialmente aos de eixo simples – não se aplicam aos rebocadores Voith-Schneider, como baixo desempenho com máquinas atrás, pouca ou nenhuma tração lateral e, em algumas situações, efeitos transversais do próprio propulsor. Por ser possível a aplicação de thrust lateral, rebocadores tratores VS são, também, mais seguros quando realizam uma aproximação rápida à proa de um navio e as forças de interação podem ser mais bem compensadas.

Navegar com máquinas adiante tão bem quanto com máquinas atrás é possível apenas com uma configuração adequada do volante. Girar em torno do próprio eixo pode ser feito ao se configurar o volante para um dos bordos, criando-se um momento. Um rebocador VS pode se mover lateralmente também. A alavanca de bombordo controla o passo para vante, enquanto a alavanca de boreste controla o passo para a ré, enquanto o volante é girado para bombordo. O momento de guinada dos propulsores é eliminado pela ação do volante e o rebocador se move lateralmente. A eficiência dos propulsores é menor com máquinas atrás, embora com máquinas adiante, o passo deva ser configurado menor do que o passo com máquinas atrás.

O formato da proa de rebocadores tratores e o fundo chato e largo de seu casco, que são necessários para que haja espaço o suficiente para as unidades de propulsão, afetam seu comportamento enquanto mantêm-se no mar. De acordo com a experiência de alguns

comandantes de rebocadores VS, o mesmo efeito provocam as placas de metal do sistema de propulsão das lâminas do propulsor em condições de mares com ventos e correntes fortes.

3.5.5 Assistência de navios por rebocadores tratores Voith-Schneider

Rebocadores Voith-Schneider são utilizados para o reboque em linha para operações do tipo push-pull. Os passos longitudinais máximos para ambos os tipos são diferentes:

- a) A nível 8/10 para rebocar ou puxar no costado; e
- b) A nível 9/10 para empurrar no costado.

Essa medida objetiva evita sobrecarga das máquinas.

Em operações do tipo push-pull, as desvantagens de rebocadores convencionais por terem pouca força com um regime de máquinas atrás e/ou por não serem capazes de puxar a angulações adequadas não se aplicam a rebocadores VS. Conforme dito anteriormente, rebocadores VS possuem quase tanta eficiência com máquinas atrás quanto com máquinas adiante e pode aplicar thrust em qualquer direção.

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. Pode-se realizar essa transição até uma velocidade do navio de 2 nós, suficientemente grande, dado que o navio tende ao repouso imediatamente antes que se comece a empurrá-lo de encontro ao cais. Atenta-se para a recomendação de que, durante a transição, o rebocador tenha à disposição um guincho de reboque, em vez de somente um, pois será preciso controlar o comprimento do cabo de reboque. Isso se mostra relevante em termos de segurança.

Além de habilitados a transitar entre a proa e os bordos, os rebocadores tratores podem passar cabos diretamente nesses últimos, aproximando-se pela proa ou pela popa, contanto que o navio não ultrapasse 5 nós de seguimento.

Rebocando um navio, com cabo passado na buzina de roda, os rebocadores VS não são os mais eficientes possíveis. Isso se deve às limitações impostas pela posição do ponto de atuação, que o restringe quanto à direção de operação. No entanto, eles são bem adequados para, como rebocadores de popa, controlar velocidade e rumo/aproamento do navio (mesmo com o navio em movimento). Além de serem recomendados para tal, podem de fato operar nos dois bordos, no método direto ou indireto. O controle de rumo é feito no método indireto, caso o navio esteja a maiores velocidades (grande acréscimo de tração por parte da sustentação), ou no método direto, caso tenha-se pouco seguimento (quando as forças propulsivas sobrepõem-se às hidrodinâmicas na carena).

Outra vantagem de rebocadores desse tipo é que, por produzirem pouca descarga, não atrapalham operações de remoção de óleo nem a navegação de pequenas barcas carregadas em bacias portuárias estreitas.

Por outro lado, a forma larga da proa e o fundo chato – necessários para disponibilizar espaço suficiente e desenho adequado para instalação das unidades propulsoras – produzem efeitos adversos no comportamento de tais rebocadores no mar. Segundo comandantes experientes, as placas de docagem produzem efeito similar.

Empregados como rebocadores de popa para controle de velocidade, os rebocadores VS devem empregar forças de frenagem tal que os manetes estejam de acordo com a velocidade do navio. O objetivo é prevenir que se sobrecarreguem as máquinas. Ademais, na situação retratada, um mínimo de volante deve ser usado (já que ele diminui a intensidade de thrust longitudinal, que é prioridade nessa operação).

3.6 Rebocadores tratores com propulsão azimutal

3.6.1 Design

Rebocadores tratores com propulsão azimutal possuem dois thrusters a vante com capacidade de giro de 360°. Há muitas companhias que os fabricam, como exemplo, temos: Aquamaster, Schottel, KaMeWa, Niigata, Kawasaki, Ulstein e Brunvoll. Alguns fabricantes europeus dentre os citados acima se fundiram numa só empresa.

Muitos nomes são usados para thrusters azimutais, como Z-pellers, Rexpeller e Duckpeller, entre outros. Embora sistemas de thrusters sejam geralmente similares, cada fabricante tem seu design específico.

Os hélices de propulsores azimutais podem ser de passo fixo, cuja rotação é controlada através de embreagens moduladoras, o que proporciona uma maior variação da velocidade dos propulsores, aumentando seus desempenhos e eliminando a necessidade por hélices de passo variável, que são muito mais caros.

Propulsores azimutais podem ser utilizados conjuntamente com tubulões, a fim de melhorar sua eficiência. Para se evitar maiores danos devido a encalhes, a proteção é realizada por meio de placas de docagem.

As placas de docagem são colocadas embaixo ou em frente ao propulsor e sua proteção é apenas relativa, não havendo muito a ser feito em casos de encalhe. E conforme seu nome indica, são também utilizados em fainas de docagem.

Como thrusters localizados embaixo do propulsor aumentada seu calado, um novo tipo de tubulão para rebocadores tratores foi desenvolvido pela empresa Schottel, chamado de Integrated Schottel Nozzle (Tubulão Integrado Schottel, em tradução livre) – ISN. O ISN é

integrado em um disco que gira 360°. Em adição ao ISN, foram criadas placas abertas de proteção mais fáceis de produzir e instalar. O sistema combinado de tubulões integrados e placas abertas de proteção diminuem o calado em até 0.5 metros, não afetando a propulsão e o bollard pull do rebocador mais do que uma placa de docagem e ainda proporciona uma melhor proteção aos hélices em caso de encalhe.

O formato básico de um rebocador, por si só, não difere muito do rebocador trator Voith-Schneider. A capacidade propulsiva do rebocador VS é pouco menor em comparação ao rebocador de propulsão azimutal, devido ao seu maior peso. Um rebocador trator de propulsão azimutal de mesma potência de um rebocador VS terá, também, menor calado.

A localização do ponto de atuação é próxima do ponto de atuação dos rebocadores de propulsão cicloidal, estão a, geralmente, $0.1 \times \text{LWL}$ a partir da perpendicular de ré e os propulsores localizam-se entre $0.3 - 0.35 \times \text{LWL}$ a partir da perpendicular de vante. Em alguns rebocadores italianos, no entanto, seu propulsores estão a $0.25 \times \text{LWL}$ a partir da perpendicular de vante. Thrusters colocados mais adiante aumentam sua eficiência enquanto em manobra de reboque.

Praticamente não há diferença na quantidade de tração produzida em razão de sua direção, porém foi notada uma perda de 5% com máquinas atrás.

3.6.2 Controle dos propulsores

Thrusters podem ser controlados por um dispositivo único para cada um deles em relação à potência, porém suas direções são controladas em conjunto através de um manche. O sistema de controle consiste de duas alavancas para manobra, um volante para o ajuste de ângulo para ambos os thrusters e duas alavancas para o controle da velocidade.

Quando a combinação da força de tração é feita através do manche, os thrusters são, automaticamente, configurados para a melhor direção possível, a fim de se manobrar o rebocador conforme o controle do manche. Alguns tipos de thrusters azimutais possuem o controle da direção do movimento do rebocador, enquanto a tração total é regulada separadamente. Outros combinaram o controle da força juntamente com a direção.

Rebocadores com manches de controle combinados podem, também, controlar cada thruster separadamente, mas, para alguns rebocadores, isso pode ser tornar um pouco complicado devido ao número de alavancas a serem operadas. Manches de controle combinados para as duas unidades é limitado a manobras pré-programadas, então o controle separado dos thruster tem suas vantagens devido ao maior número de possibilidades, especialmente quando as manobras de assistência do navio são complexas. No futuro, provavelmente será possível que o thrust e a direção para cada thruster possam ser regulados de maneira simples e lógica.

Thrusters azimutais de passo controlável tem as vantagens a respeito da velocidade com que o regime de máquinas pode ser revertido de adiante para atrás. Entretanto, quando são dadas máquinas a toda força a ré é necessário, não basta reverter o passo, deve-se girar o thruster.

3.6.3 Manobra de um rebocador de propulsão azimutal

As características da manobra de rebocadores tratores de propulsão azimutal são, em parte, comparáveis às dos rebocadores VS. Eles são, também, muito seguros e de muito fácil manobrabilidade, podem girar em torno de um eixo, mover-se lateralmente e têm quase o mesmo bollard pull com máquinas adiante e atrás. Por serem de calado relativamente menor, às vezes outro modelo de skeg e quase 100% da tração em qualquer direção, as características de manobra desse tipo de rebocador podem ser um pouco diferentes quando comparados a rebocadores VS.

3.6.4 Assistência de navios por rebocadores tratores de propulsão azimutal

As capacidades de assistência de rebocadores tratores com propulsão azimutal são, novamente, comparáveis àquelas dos rebocadores de propulsão cicloidal. Eles são compatíveis tanto para operar ao lado do navio quando para um reboque por cabo passado. Os rebocadores de propulsão azimutal que utilizam pequenos skegs e/ou com um ponto de atuação não localizado na posição correta são menos eficientes ao rebocar pela ré do que rebocadores tratores VS, quando operando pelo método indireto de reboque a altas velocidades. Por outro lado, devido à sua menor resistência hidrodinâmica – normalmente devido a seu calado menor – e à sua habilidade de proporcionar quase 100% de thrust em qualquer direção, rebocadores tratores azimutais são mais eficazes a maiores velocidades em reboque direto, como um rebocador de popa e um rebocador de proa, quando escoltando por cabo passado, novamente dependendo da localização do ponto de atuação.

3.7 Rebocadores tratores-reversos

3.7.1 Design

Rebocadores tratores-reversos, também chamados de rebocadores empurradores, são rebocadores com dois propulsores azimutais abaixo de sua popa. Eles são criados para assistir navios por suas proas. Eles possuem um grande guincho de reboque em sua proa e apenas pequenos equipamentos de reboque em sua popa. Seu ponto de atuação a ré geralmente se encontra muito a ré para se tornar realmente eficaz caso esses rebocadores rebocassem por cabo passado como um rebocador convencional. Às vezes o ponto de atuação se localiza perto e acima dos thrusters de ré.

Os sistemas de propulsão azimutal podem utilizar hélices de passo fixo ou controlável, conforme visto anteriormente. No caso de hélices de passo fixo, as rotações podem ser controladas por um sistema de embreagens moduladoras. Devido aos thrusters serem fixados abaixo da popa, o calado máximo de rebocadores tratores-reversos é menor em comparação com rebocadores tratores. O calado do casco é menos que o calado do costado de um rebocador trator Voith-Schneider, por motivos já mencionados ao se tratar de rebocadores com propulsão azimutal.

As unidades de propulsão se localizam a, aproximadamente, $0.1 \times \text{LWL}$ a partir de ré. O ponto onde o rebocador empurra e o ponto de atuação a vante localizam-se na proa. A construção do passadiço é completamente ajustada para o método de assistência utilizado. A estação de manobra é desenhada de maneira que o comandante do rebocador possua uma visão desobstruída de sua proa, do cabo passado e do navio assistido, enquanto se senta atrás do painel de manobra.

3.7.2 Controle de hélices, capacidades de manobra e assistência aos navios

O controle dos hélices com rebocadores tratores-reversos é o mesmo dos rebocadores tratores. Devido aos dois thrusters azimutais e ao ponto de atuação muito a vante, rebocadores tratores-reversos são de fácil manobrabilidade e muito seguros. Eles podem girar em torno de um eixo e mover-se lateralmente. Com máquinas atrás, sua eficiência cai em cerca de 10% em relação à eficiência com máquinas a vante devido ao formato de seu costado na popa. O nome rebocador trator-reverso implica que o rebocador opera de maneira muito similar aos rebocadores tratores, na direção oposta, todavia. Rebocadores tratores sempre operam com o ponto de atuação voltado ao navio assistido e as unidades de propulsão longe do mesmo. Rebocadores tratores-reversos trabalham da mesma maneira, mas com sua proa na direção oposta, por isso é lhes dado tal nome.

O que foi mencionado sobre rebocadores tratores azimutais, em relação à manobra, também se aplica a uma grande variedade de rebocadores tratores-reversos. Eles podem ser utilizados para rebocar com cabo passado ou pela lateral do navio. Eles podem mudar facilmente de posição em relação ao navio, do método de reboque com cabo passado para o método push-pull na mesma manobra, ao se aproximarem do berço. Um gancho de reboque é útil para disponibilizar o cabo de reboque sempre de acordo com o comprimento adequado.

Quando operando pela lateral do navio, rebocadores tratores-reversos são muito eficazes em velocidade.

Por terem propulsão azimutal instalada a ré, rebocadores tratores-reversos podem operar em velocidade sobre o costado, nos bordos, de forma muito eficiente. Entretanto, como rebocadores de proa, apesar de serem por vezes utilizados, não apresentarão a mesma capacidade quando o navio possuir seguimento. Isso se deve ao fato de que qualquer rebocador que, puxando pela proa, tiver seu ponto de atuação em extremidade oposta à da

propulsão, será restrito quanto ao ângulo de operação e pouco eficiente, principalmente a elevadas velocidades.

Como rebocadores de popa, os tratores-reversos são adequados tanto para o auxílio da manobra, quanto para o controle de seguimento do navio. No método indireto, são menos eficientes que os rebocadores tratores VS, mas os superam no direto, graças à menor resistência oferecida por sua carena (que tem menor área molhada e é menos “cheia”).

3.8 Rebocadores Azimuth Stern Drive (ASD)

3.8.1 Design

Rebocadores ASD são muito similares a rebocadores tratores-reversos, porém seu formato é tal que eles podem operar tanto quanto um rebocador trator-reverso quanto como um rebocador convencional, podendo, tornando-se, portanto, muito versátil. Rebocadores ASD possuem um guinchos de reboque a vante e a ré da embarcação.

O ponto de reboque a sua ré é compatível com o reboque por cabo passado, e está a $0.35 - 0.4 \times \text{LWL}$ a partir da perpendicular de ré. Assim como os tratores-reversos, eles possuem dois propulsores azimutais a ré, abaixo da quilha, a cerca de $0.1 \times \text{LWL}$ a partir da perpendicular de ré.

Os thrusters azimutais de rebocadores ASD são feitos pelos menos fabricantes de thrusters azimutais de rebocadores tratores. Seu calado máximo é menor em comparação com o de rebocadores tratores. Eles podem ser equipados com tunnel bow thrusters, especialmente quando utilizados em operações offshore. Esse tipo de thruster não é muito eficiente quando o rebocador tem velocidade adiante, mas é muito útil para manter sua posição. O interesse nesse tipo de rebocador continua crescendo devido à sua manobrabilidade e capacidades multipropósito. Seu último desenvolvimento foi a instalação de thrusters de proa azimutais retráteis, que aumenta sua manobrabilidade, sua capacidade de manter-se em posição, maior bollard pull a vante e a ré e a maior capacidade de movimentar-se lateralmente.

3.8.2 Controle de propulsão, manobrabilidade e assistência a navios

O controle de propulsão é igual ao de rebocadores tratores com propulsores azimutais. 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.

Como rebocadores de popa, os ASD usam a popa como extremidade de operação (como tratores-reversos). Eles são particularmente eficientes para controle de velocidade e de rumo, em ambos os bordos. Novamente, assim como os tratores-reversos, são menos

eficientes que os rebocadores tratores Voith-Schneider no método indireto, porém mais capacitados para o método direto graças ao seu menor calado (medido na quilha).

De maneira análoga à dos tratores-reversos, os ASD transitam facilmente de uma posição de reboque a vante para o método push-pull, prescindindo de soltar os cabos em posição.

Operando nos bordos, guinchos de reboque são recomendáveis para controlar o comprimento de cabos e/ou caçar um chicote, se necessário. No costado, ratifica-se, devido à alternativa de operação como tratores-reversos, trabalham de forma muito eficiente. Sua alta potência em passo reverso e seus thrusters azimutais são fundamentais para que se atinja tal eficiência. Por outro lado, a adição de thrusters azimutais de proa os ajuda ainda mais em seu desempenho, visto que a presença de unidade propulsiva a vante garante plena manutenção da proa sobre um ponto fixo do costado em condições climáticas rigorosas.

3.9 Desempenho de Rebocadores

Com respeito ao seu desempenho, em geral, é necessário entender princípios básicos. Neste item são enumerados alguns deles, apesar de não se intencionar abordá-los com profundidade.

1) Condição de fluxo positivo/negativo

Quando a descarga do propulsor trabalhar paralelamente e em mesmo sentido do fluxo externo, o propulsor estará trabalhando em condições positivas de fluxo. Isso ocorre, por exemplo, quando um rebocador puxa um navio com seguimento. Quando o fluxo for contrário ao sentido da descarga do propulsor, por outro lado, o fluxo em que trabalha a unidade será dito negativo. Este é observado, entre outras, naquelas situações em que um rebocador de popa opere de forma a quebrar o seguimento de um navio. Apesar de, em fluxo negativo, o propulsor produzir maior torque, a alta carga de trabalho e possíveis flutuações, além de vibrações, podem tornar esta condição indesejável em alguns casos.

2) Relação entre rpm, bollard pull e potência do propulsor

A tração no cabo de reboque depende do quadrado das rpm do eixo do rebocador, enquanto a potência desenvolvida pelo motor varia com o cubo das revoluções por minuto. Isso significa, grosso modo, que a potência desenvolvida por um motor terá sido dobrada em relação a um valor de referência somente quando suas rpm tiverem sido multiplicadas por oito. Nesse caso, a tração no cabo terá, portanto, sido multiplicada por quatro. De fato, essas relações não se aplicam somente às condições estipuladas pela medição de bollard pull, mas, de forma aproximada, para todas as operações desempenhadas num porto.

3) Uso de tubulões

Tubulões podem aumentar a eficiência propulsiva em certa faixa de carga do propulsor, de forma que dois rebocadores idênticos, um com propulsores abertos e outro com tubulões, possam ter bollard pull diferentes (o do primeiro menor que do último). Nesse contexto, é relevante dizer que o bollard pull é determinado por meio de testes em diferentes regimes de máquinas, particularmente na MCR (Manufacturer's Recommended Continuous Rating) ou mesmo em condições de sobrecarga, em que seja avaliada a capacidade do propulsor de manter certa taxa máxima de thrust por um período mínimo de uma hora. Ressalta-se, também, que as credenciais de bollard pull somente dizem respeito a circunstâncias de pouco vento, nenhuma onda ou corrente e de reboque em que a linha de centro esteja alinhada com a direção do cabo, para vante ou para ré. O valor do bollard pull, em si, poderá ser medido com dispositivo ordinário de molas ou por meio de dispositivo eletrônico, e, qualquer que seja o utilizado, deverá poder fornecer leitura contínua da tração no cabo, plotável em um gráfico em função do tempo.

Agora quanto à razão entre bollard pull desenvolvida pelo propulsor, deve-se notar que, dependendo do rebocador, poderá ser maior ou menor. Enquanto propulsores de passo variável fixados em tubulões geram 1.5 tonelada de bollard pull a cada 100 bhp (potência medida no eixo), propulsores do tipo VS contribuem para cerca de 1.15 tonelada para cada 100 bhp. Na verdade, mesmo para rebocadores do mesmo tipo e potência, essa relação pode variar conforme a forma do casco, o tipo de tubulão e a carga do propulsor. Ainda nesse mérito, admite-se a razão proporcional à extensão de potência da unidade propulsora. Assim, um rebocador convencional de 700 bhp (que tem menor extensão) desenvolve 2 toneladas de bollard pull para cada 100 bhp, enquanto um de 6000 bhp gera menos de 1.3 toneladas para cada 100 bhp.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou diversos aspectos da arquitetura e do desempenho dos diversos tipos de rebocadores utilizados ao redor do mundo, com o intuito de fornecer ao leitor dados que sirvam de base para a compreensão das capacidades e limitações dos rebocadores.

Espero que o presente trabalho seja de utilidade para todos aqueles que se interessam pelo assunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DA SILVA, Otávio Augusto Fragoso Alves e Marcello Campello Cajaty Gonçalves.

Rebocadores Portuários. Conselho Nacional de Praticagem, 1995.

HENSEN, Capt. Henk. Tug Use in Port, 2. ed. The Nautical Institute, 2003.