

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

**LUIZ EDUARDO TORRES DE OLIVEIRA**

**EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO NO TRANSPORTE MARÍTIMO**

**RIO DE JANEIRO**  
**2015**

**LUIZ EDUARDO TORRES DE OLIVEIRA**

**EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO NO TRANSPORTE MARÍTIMO**

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/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: PROF: HERMANN REGAZZI GERK  
Engenheiro Mecânico (Especialista em Mecânica dos fluidos)

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**LUIZ EDUARDO TORRES DE OLIVEIRA**

**EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO NO TRANSPORTE MARÍTIMO**

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/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: PROF: HERMANN REGAZZI GERK

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode ter. Deus me sustentou nos momentos de dificuldade, me ensinou a caminhar com sabedoria e me proporcionou paz e sabedoria para que eu pudesse trilhar caminhos que me levariam a conquistar meu sonho.

Aos meus pais, que foram os pilares de tudo que construí até hoje, com amor, incentivo, apoio incondicional e sem deixar faltar nada em todos os momentos de minha vida.

A minha namorada, que me proporcionou momentos de companheirismo e descontração.

Aos meus familiares e amigos, que torceram por mim e facilitaram a minha caminhada até aqui e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## **AGRADECIMENTOS PROFISSIONAL**

Agradeço ao meu orientador HERMANN REGAZZI GERK, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Nosso cérebro é o melhor brinquedo já criado: nele se encontram todos os segredos, inclusive da felicidade. A vida é maravilhosa se você não tem medo dela. (CHARLES CHAPLIN)

## RESUMO

Neste trabalho iremos tratar sobre a evolução da propulsão marítima começando desde os primórdios quando nossos navios eram somente movidos pela força do vento ou pela força humana até os dias atuais onde temos vários tipos de propulsão. Nesse período entre a navegação à vela e a invenção do propulsor iremos mostrar todos os tipos de propulsão que existiram, como foram pensados, os problemas que possuíam e como foram resolvidos. Após a invenção do propulsor, a partir de um princípio físico e de uma experiência realizada por Arquimedes, é que a nossa navegação evoluiu significativamente se tornando um dos principais meios de transporte entre países com a finalidade de levar e trazer mercadorias. Nesse trabalho também iremos abordar os tipos de propulsão, os tipos de propulsores, seus inventores, como foi inventado, ou seja, contando um pouco da história de como surgiu cada ideia nova para revolucionar nosso transporte marítimo, detalhes dos meios de propulsão, problemas encontrados e como foram resolvidos, novas tecnologias, vantagens e desvantagens de cada meio de propulsão e assim tentar demonstrar qual o melhor tipo de propulsão dentre as opções que nós possuímos atualmente com a finalidade de sempre conseguir o maior rendimento possível mas também obedecendo todas as regras ambientais e de segurança da navegação.

Palavras-chave : Propulsão, Propulsores, evolução, inventores, tecnologia

## **Abstract**

*In this work we will deal about the evolution of marine propulsion starting from the early days when our ships were powered only by wind power or human force to the present day where we have various types of propulsion. During this period between sailing and the invention of the propellant will show all types of propulsion that existed, as was thought, the problems they had and how they were solved. After the invention of propellant, from a physical principle and of an experiment performed by Archimedes, it is that our navigation has evolved significantly becoming one of the main means of transport between countries with the aim of having to carry goods. This work also We will address the types of propulsion, the types of thrusters, its inventors, as was invented, in the other words, telling a bit about the history of how it came about every new idea to revolutionize our shipping, details of the means of propulsion, problems encountered and how they were resolved, new technologies, advantages and disadvantages of each means of propulsion so try and demonstrate what the best type of propulsion from the options we currently have in order to always achieve the best possible performance but also complying with all environmental rules and browsing security.*

*Key words : propulsion , thrusters , Evolution, inventors , technology*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Vela Quadrada	14
Figura 2 -	Vela ao Terço	15
Figura 3 -	Vela Latina	16
Figura 4 -	Vela Espicha	16
Figura 5 -	Vela Houari	17
Figura 6 -	Vela Aúrica	17
Figura 7 -	Vela Bermudiana	18
Figura 8 -	Veleiro de Recreio	19
Figura 9 -	Veleiro de Competição-Classe Star	19
Figura 10 -	Navio SS GREAT WESTERN	22
Figura 11 -	Isamard Kingdom Brunel	22
Figura 12 -	Navio com Propulsão por Rodas de Pás	24
Figura 13 -	Parafuso de Arquimedes	26
Figura 14 -	Propulsor	26
Figura 15 -	SS GREAT BRITAIN	29
Figura 16 -	Fenômeno de Ventilação	29
Figura 17 -	Hélice Danificada por Cavitação	31
Figura 18 -	Rake	32
Figura 19 -	Skew	33
Figura 20 -	Sistema de Propulsão Direta	34
Figura 21 -	Sistema de Propulsão Indireta	34
Figura 22 -	Hélice de Passo Constante	35

Figura 23 -	Hélice de Passo Fixo	36
Figura 24 -	Hélice de Passo Controlável	37
Figura 25 -	Hélice de Passo Controlável	37
Figura 26 -	Hélice em Dutos	38
Figura 27 -	Propulsor Kappel	39
Figura 28 -	Propulsor <i>End-Plate</i>	40
Figura 29 -	Sistema de Dois Hélices	41
Figura 30 -	<i>Twin Propellers</i>	41
Figura 31 -	Propulsor Contra-Rotativo	43
Figura 32 -	Propulsor Voith Schneider	44
Figura 33 -	Propulsor Azipod	45
Figura 34 -	Propulsor Azimutal	45
Figura 35 -	Sistema Diesel-Elétrico Azumital	49
Figura 36 -	Sistema Diesel-Elétrico Azipod	50
Figura 37 -	Propulsão Diesel-Elétrica com Sistema AZIPOD	50
Figura 38 -	Instalação Propulsora com Sistema AZIPOD	51
Figura 39 -	Propulsão Diesel-Elétrica com Sistema Integrado de Propulsão AZIPOD	51
Figura 40 -	Sistema Propulsão Combinada de Diesel-Elétrica e Gás	52
Figura 41 -	Sistema de Propulsão Elétrica Utilizando Células de Combustível	53

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>PROPULSÃO À VELA</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Vela Quadrada ou Vela Redonda</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Vela ao Terço</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Vela Latina</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Vela Espicha</b>	<b>16</b>
<b>2.5</b>	<b>Vela Houari</b>	<b>17</b>
<b>2.6</b>	<b>Vela Aúrica</b>	<b>17</b>
<b>2.7</b>	<b>Vela Bermudiana</b>	<b>18</b>
<b>2.8</b>	<b>Uso da Vela Atualmente</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>PROPULSÃO MECÂNICA (POR RODAS DE PÁS)</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Primeiro Navio com Propulsor com Hélice</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Funcionamento da Propulsão a Vapor por Rodas de Pás</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>PROPULSÃO MECÂNICA (PROPULSOR COM HÉLICE)</b>	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Primeiro Navio com Propulsor com Hélice</b>	<b>27</b>
<b>4.2</b>	<b>Principais Problemas Causados pelos Propulsores</b>	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Tipos de Propulsão</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Tipos de Hélice</b>	<b>34</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Hélice de Passo Constante</b>	<b>35</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Hélice de Passo Fixo</b>	<b>35</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Hélice de Passo Controlável</b>	<b>36</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Hélice em Dutos</b>	<b>38</b>

<b>5</b>	<b>PROPULSORES MECÂNICOS</b>	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>Propulsor <i>Kappel e End-Plate</i></b>	<b>39</b>
<b>5.2</b>	<b>Sistema de Dois Hélices</b>	<b>40</b>
<b>5.3</b>	<b>Propulsores com Duplo Hélice Gêmeas - <i>Twin Propellers</i></b>	<b>41</b>
<b>5.4</b>	<b>Propulsor Contra-Rotativo</b>	<b>42</b>
<b>5.5</b>	<b>Unidades de Propulsão Auxiliar</b>	<b>43</b>
<b>5.6</b>	<b>Propulsor Cicloidal (Voith Schneider)</b>	<b>43</b>
<b>5.7</b>	<b>Propulsor Azipod e Azimutal</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>PROPULSÃO ELÉTRICA</b>	<b>46</b>
<b>6.1</b>	<b>Propulsão Elétrica Azipod</b>	<b>46</b>
<b>6.2</b>	<b>Propulsão Elétrica Azimutal</b>	<b>48</b>
<b>6.3</b>	<b>Propulsão Diesel-Elétrica com Propulsores Azimutais</b>	<b>48</b>
<b>6.4</b>	<b>Propulsão Diesel-Elétrica com Propulsores Azipod</b>	<b>49</b>
<b>6.5</b>	<b>Propulsão Combinada de Diesel-Elétrica e Gás</b>	<b>52</b>
<b>6.6</b>	<b>Propulsão Elétrica Utilizando Células de Combustível</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>55</b>

## 1 - INTRODUÇÃO

Há séculos o mar representa uma importante fonte econômica, seja para a pesca, o transporte ou o comércio. No início da conquista do mares, os barcos eram movidos pela força humana por meio de remos. Embarcações dotadas de mastro com vela quadrada, também chamada de redonda pela sua aparência com o vento, começaram a aparecer no Egito, Grécia e Roma.

Propulsão é o processo de alterar o estado de movimento ou de repouso de um corpo em relação a um dado sistema de referência. Este processo pode ser realizado por vários meios, usando-se fontes de energia diversas. Os meios de propulsão são utilizados para mover aviões, veículos espaciais, automóveis, trens, navios, submarinos, etc. O estudo da propulsão e dos fenômenos a ela ligados torna-se cada dia mais importante devido às exigências de conservação de energia (redução e otimização do consumo de energia), atendimento de desempenho pré-estabelecido, controle de poluição (ambiental, sonora, visual, etc.), citando apenas algumas das mais importantes.

Tanto para uso comercial como para uso pessoal, os barcos são há séculos um dos meios de transporte mais populares e versáteis. Por essa razão, entre os requisitos básicos dos sistemas de propulsão marítima contam-se a segurança, a fiabilidade e a eficiência.

Propulsão naval é qualquer meio de produção de energia mecânica que permita o deslocamento de embarcações. Os sistemas de propulsão para navios e barcos variam de simples remos a grandes motores a diesel do mundo ou mesmo de propulsão nuclear. Esses sistemas se dividem em três categorias: de propulsão humana (o remo), vela, e de propulsão mecânica.

## 2 - PROPULSÃO À VELA

A propulsão a vela pode ser considerada como uma das mais importantes invenções da história. Foi principalmente por meio de navios a vela que o comércio prosperou na antiguidade, tanto no Oceano Índico, quanto no Mediterrâneo. Por esse tempo os povos que dominavam os mares também costumavam impor sua supremacia em terra. Ao descobrir a América, Colombo contribuiu para consolidar a civilização ocidental trazendo as riquezas das Américas para o velho continente. Magalhães foi o verdadeiro pioneiro da globalização com sua volta ao mundo, e os ingleses, os melhores velejadores de todos os tempos, dominaram o planeta impondo seu idioma como a língua universal graças ao seu incontestável domínio dos mares.

Em função da época e do lugar, a forma das velas, que vai caracterizar o seu tipo, varia significativamente. Os estudos actuais demonstram que a forma teórica de maior rendimento é a de uma semi-elipse vertical.

É curioso assinalar que era costume chamar às velas panos, certamente porque tanto um como o outro utilizavam os mesmos tecidos, o algodão, e daí o falar-se de pano quadrado, de pano redondo, etc.

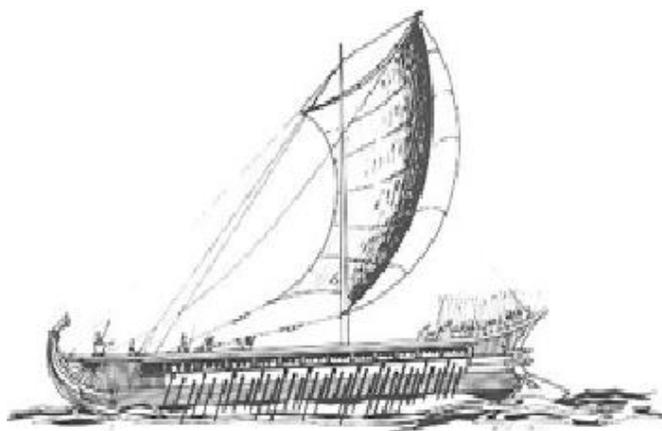
A vela começou por ser quadrada e em seguida trapezoidal para se tornar triangular, atualmente para se obter uma superfície vélica superior para uma dada altura de mastro começa-se a utilizar de novo a vela aúrica. As velas que envergam em vergas atravessadas denominam-se velas redondas e as velas que envergam no sentido proa-popa denominam-se velas latinas.

O surgimento da vela permitiu que o ser humano se afastasse da costa e construísse embarcações maiores com propulsão mista, vela e remos, pois a vela quadrada só permite vento a favor. Esta limitação só desapareceu com o surgimento da vela latina que permitiu travessias maiores, iniciando propriamente a navegação marítima, longe da costa, com o passar do tempo foram aparecendo vários projetos de velas para melhorar o rendimento da navegação, iremos citar alguns desses projetos.

## 2.1- Vela quadrada ou Vela redonda

redonda é o tipo de vela mais antigo da Europa pois que utilizada do Báltico ao Mediterrâneo nos navios mercantes e militares mas que não podiam navegar a mais de  $60^{\circ}$  em relação à direcção do vento. Rapidamente substituída a partir do século IX no Mediterrâneo pela Vela latina por permitir navegar próximo da linha do vento. É na verga, termo náutico que designa a peça horizontal e de madeira que se apoia no mastro, onde se prendiam as velas. A vela quadrada desaparece durante a primeira metade do século XX com o fim dos grandes veleiros como a Sagres.

Figura 1: Vela quadrada

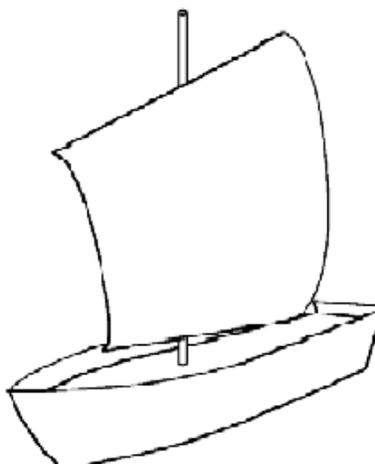


Fonte: <http://www.eboat.com.br/nautica/historia/Trireme.jpg>

## 2.2- Vela ao terço

A Vela ao terço ( $1/3$  da altura total do mastro), com base na quadrada, começou a melhorar os resultados da navegação à bolina quando a verga passou de horizontal a quase vertical.

Figura 2: Vela ao terço



Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ce/Lug\\_Sail.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ce/Lug_Sail.png)

### 2.3- Vela latina

A Vela latina é uma vela triangular que surgiu por volta de 200 a.C. na região do mar Mediterrâneo e cuja vantagem consiste no facto de um navio poder bolinar, navegar contra-vento. As velas latinas, que geralmente são triangulares, têm uma das suas faces adjacentes a um mastro. É a vela mais utilizada no veleiros monotipos ligeiros, 420, Snipe, etc.

Por muito tempo se supôs que tinha inspiração árabe, mais recentemente se reconhece que a transmissão se deu no caminho oposto: o uso desta vela pelos árabes se dá após a conquista do Egito, e a sua introdução no oceano Índico só pode ser traçada à chegada dos portugueses no século XVI. A verga desta vela tem o nome especial de antena. Para se terem os melhores resultados, deve mudar-se a posição da antena a cada viramento de bordo, passando-a de para o outro lado do mastro. Com esta vela, desapareceram as velas quadradas.

Figura 3: Vela latina

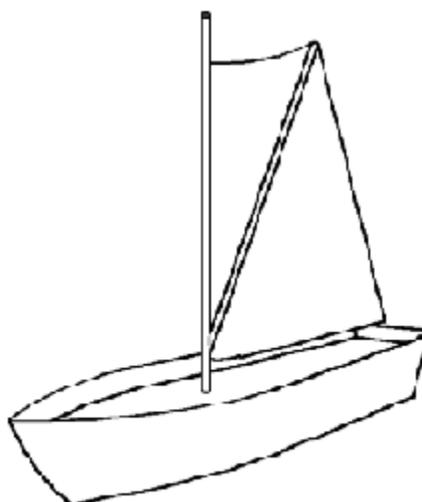


Fonte: [http://www.revistamilitar.pt/recursos/imagens/imgs2011/RM2515\\_997.jpg](http://www.revistamilitar.pt/recursos/imagens/imgs2011/RM2515_997.jpg)

#### 2.4- Vela espicha

A Vela de espicha é o nome dado ao pau que preso ao mastro sobe em diagonal entre 30 a 45 °, para segurar a vela trapezoidal de embarcações.

Figura 4: Vela espicha

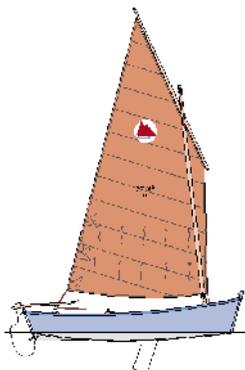


Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Split\\_Sail.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Split_Sail.png)

## 2.5- Vela houari

A Vela houari é uma evolução da vela de espiche no qual este se inclina ainda mais chegar aos 25 a 30 ° da vertical. Simples de instalar, permite aumentar ainda mais a superfície da vela.

Figura 5: Vela houari



Fonte: [http://francois.vivier.info/lmg/sorine\\_voile\\_360.png](http://francois.vivier.info/lmg/sorine_voile_360.png)

## 2.6- Vela aúrica

A Vela aúrica ou Vela de cuchillo de forma trapezoidal apresenta sempre a mesma face ao vento, e é segundo alguns especialistas náuticos uma evolução da vela quadrada até porque a verga, inicialmente horizontal, passou a inclinar-se e assim conseguiram-se melhores resultados a navegar próximo da linha do vento. Este tipo de vela foi muito conhecida nas embarcações de trabalho do Atlântico Norte.

Figura 6: Vela aúrica



Fonte: <http://www.ikonet.com/es/diccionariovisual/images/esp/ejemplos-de-velas-133610.jpg>

## 2.7- Vela bermudiana

A Vela bermudiana ou vela Marconi é o antepassado do mastro com brandal tradicional onde o mastro estava inclinado para trás, como é a forma encurvada de uma prancha à vela. O termo Marconni refere-se ao sistema de fixação da vela no mastro que corre ao longo de uma fenda no mastro e se assemelha ao utilizado nas antenas da TSF de Marconi

Figura 7: Vela bermudiana



Fonte: <http://www.edoardonapodano.it/public/immagini/2010/09/08-SamadhiDisegno02.jpg>

## 2.8 - Uso da vela atualmente

Navegação a vela perdeu toda a sua importância para o comércio, é verdade, mas passou a ser o meio de transporte preferido das pessoas que querem se aventurar pelos mares. Os veleiros são um sonho de consumo, mas o vento não é constante e sem um sistema de propulsão auxiliar confiável fica meio arriscado cruzar oceanos, com suas incertezas e perigos, especialmente o tráfego marítimo que não pára de crescer.

Além dos veleiros de recreio embarcações a vela são muito usadas no esporte existem varias categorias diferentes em disputa pelo mundo inteiro.

Figura 8: Veleiro de recreio



Fonte: <https://perfilnautico.files.wordpress.com/2014/11/felicitc3a0-west-64m.jpg?w=436&h=291&crop=1>

Figura 9: Veleiro de competição (classe star)



Fonte: [http://www.boatshopping.com.br/file/2015/03/248746\\_485840\\_dsc\\_7992-1000x600.jpg](http://www.boatshopping.com.br/file/2015/03/248746_485840_dsc_7992-1000x600.jpg)

### **3- PROPULSÃO MECÂNICA (POR RODAS DE PÁS)**

Durante muito tempo, a vela foi o principal meio de propulsão das embarcações, até o surgimento do motor a vapor no século XIX. No início, novamente uma solução híbrida foi adotada, a vela era utilizada durante o cruzeiro e o vapor para atingir velocidades maiores. Enquanto os ventos eram gratuitos, os motores a vapor exigiam grandes quantidades de carvão, o que ainda diminuía a carga útil do navio. Inicialmente o motor acionava uma grande roda na lateral do navio, esta roda atrapalhava o manuseio das velas e a faina do navio. Este problema só foi resolvido com a invenção da hélice por John Ericsson. No início do século X, com o aumento dos navios, a criação de embarcações totalmente metálicas e a hélice, o motor a vapor se firmou como principal meio de propulsão naval.

#### **3.1 - Primeiro navio movido a rodas de pás**

Nos dias de hoje, os navios não são mais usados como transporte. A aviação já conquistou o mundo e desde então, embarcações são usadas para cruzeiros e transporte de cargas. Mas houve um tempo em que apenas os navios à vapor tinham a capacidade para viajar de maneira relativamente rápida entre grandes distâncias.

Tudo se iniciou no auge da Revolução Industrial, quando os motores à vapor estavam transformando o mundo. Isambard Kingdom Brunel (1806-1859), um engenheiro da Great Western Railway, uma empresa de ferrovia britânica, construiu uma linha férrea ligando Londres a Briston, atravessando a Grã-Bretanha.

Em 1835, Brunel tem a ideia de estender esta linha de Briston a Nova York, atravessando o Atlântico Norte em um navio à vapor, onde até então, essa travessia era feita por navios veleiros. Quando apresentou o projeto em uma reunião da Great Western, apenas um dos diretores o apoiou. Porém, decidiram construir o SS Great Western (batizado com o nome da companhia), o primeiro navio à vapor construído exclusivamente para a travessia transatlântica. Para tal feito, o navio precisaria carregar 650 toneladas de carvão. Brunel calcula que o navio necessite ter um pouco mais de 70 metros de comprimento para acomodar toda essa carga. Seria o maior

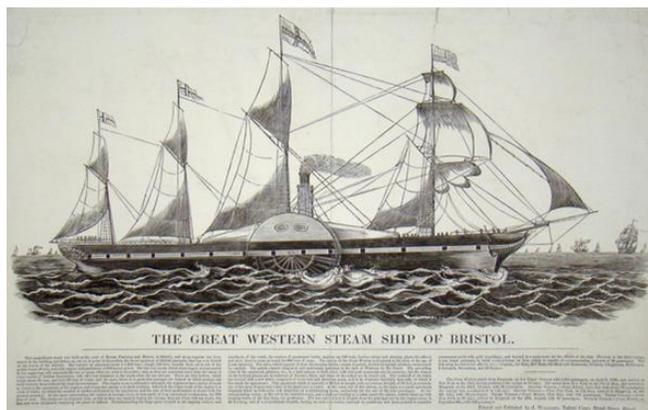
navio já construído até então, de madeira. Como todo esse tamanho poderia fazer o navio entortar, Brunel recorre a um material que conhecia muito bem: o ferro. Ele tem a ideia de prender uma estrutura de vigas de ferro por dentro do navio de madeira, tornando o Great Western resistente o bastante para atravessar o Atlântico.

A embarcação de 1.300 toneladas suporta a travessia, e em 23 de abril de 1838, chega à Nova York em apenas quinze dias de viagem, duas vezes mais rápido do que um navio à vela, confirmando assim, o início da era dos navios transatlânticos movidos à vapor.

Outros navios à vapor foram construídos muito antes do Great Western, como o SS Savannah, que, em 1819, cruzou o Atlântico em 23 dias, mas operou a maior parte do tempo pela força do vento, se tornando um fracasso. Houve também o pequeno vapor Sirius, que fez essa rota chegando um dia antes que o Great Western, precisando queimar móveis e outros itens de madeira para chegar ao fim da rota. Contudo, o Great Western foi construído para o comércio transatlântico, e tinha bastante espaço para passageiros. Foi o veleiro a vapor mais bem sucedido a cruzar o Atlântico.

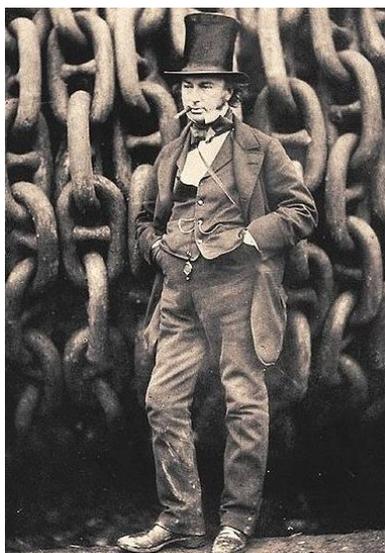
O SS Great Western foi o navio que abriu portas a todos os grandes navios à vapor que surgiram sucessivamente, assim como o RMS Titanic e vários outros gigantes que ficaram com seus nomes marcados na História da grande Era de Ouro dos luxuosos navios à vapor.

Figura 10: Navio SS GREAT WESTERN



Fonte: <http://www.tecmundo.com.br/historia/52990-isambard-brunel-o-engenheiro-que-revolucionou-a-tecnologia-do-transporte.htm>

Figura 11: Isambard Kingdom Brunel



Fonte: <http://www.tecmundo.com.br/historia/52990-isambard-brunel-o-engenheiro-que-revolucionou-a-tecnologia-do-transporte.htm>

### 3.2 - Funcionamento da propulsão a vapor por rodas de pás

Um barco a vapor é uma embarcação propelida por um motor a vapor que aciona rodas de água (um conjunto de pás) montadas inicialmente à meia-nau, na lateral (Bombordo e Boreste) e depois na popa. São tipicamente caracterizados por possuírem grandes chaminés.

A invenção do motor a vapor por James Watt propiciou o sonho de mover grandes embarcações sem depender dos ventos, o que foi realizado por Robert Fulton com o Clermont em 1807.

Um barco a vapor com rodas de pás é uma embarcação vista geralmente em águas fluviais e nos litorais, movida por uma caldeira que faz funcionar pelo vapor uma ou mais rodas de pás, também chamadas de roda de água, que funcionam como mecanismos de propulsão. Pode ser classificado como um dos tipos de Barco a vapor. As rodas de pás em navios, também podem funcionar movidas por motores a diesel, tração humana ou animal.

As rodas de pás foram o primeiro mecanismo de propulsão de navios, atualmente substituídas quase totalmente por hélices helicoidais e outros tipos mais modernos usados na navegação marítima.

As rodas de pás possuem o formato de uma grande circunferência, com as lâminas ligadas em uma estrutura assemelhada a uma gaiola que atualmente é feita de aço. Uma parte das pás fica submersa. A rotação das pás faz com as mesmas se alternem naquelas que fiquem submersa, produzindo uma força de impulso que pode movimentar a embarcação para a frente e também para trás, se necessário. As rodas de construção mais avançada permitem que as lâminas fiquem próximas da vertical enquanto estão na água, aumentando a propulsão. A roda de pás geralmente é coberta, diminuindo os efeitos dos esguichos da água na embarcação.

São duas as formas de montar uma roda de pás num navio, pode se colocar uma única roda na popa do navio (conhecido em inglês como stern-wheeler) ou se coloca duas, uma em cada lado (conhecida como side-wheeler ou rodas laterais).

As rodas únicas geralmente são usadas em barcos fluviais, principalmente nos Estados Unidos da América, onde essas embarcações ainda operam como atrações para os turistas que visitam o Rio Mississippi e alguns outros locais.

As rodas laterais são usadas tanto em barcos fluviais como em embarcações costeiras. Possuem maior capacidade de manobra, pois a força pode ser direcionada para uma roda de cada vez.

Embora a roda de pás tivesse evoluído para a hélice e o motor a vapor para as turbinas a vapor, dando origem aos modernos navios, alguns modelos fluviais continuaram utilizando esse tipo de propulsão por muito tempo, como os típicos steamboats do Rio Mississippi ou como são conhecidos no Brasil, os gaiolas do Rio São Francisco e Rio Amazonas.

Figura 12: Navio com propulsão por rodas de pás



Fonte: [http://rlv.zcache.com.br/navio\\_a\\_vapor\\_1897\\_da\\_roda\\_de\\_pa\\_de\\_rosedale\\_cartao\\_postal-r6b1a9b5b831b409ab74fe728f8f622ad\\_vgbaq\\_8byvr\\_512.jpg](http://rlv.zcache.com.br/navio_a_vapor_1897_da_roda_de_pa_de_rosedale_cartao_postal-r6b1a9b5b831b409ab74fe728f8f622ad_vgbaq_8byvr_512.jpg)

Porém a propulsão feita através das rodas de pás possuem um grande problema, quando o navio joga para bombordo ou para boreste uma das rodas tendem a ficar fora da água, causando assim uma grande perda de rendimento na velocidade do navio. Então para resolver esse problema Isamard Kingdom Brunel se voltou para um inteligente mecanismo inventado por uma das maiores mentes da Grécia antiga, o parafuso de Arquimedes.

Parafuso de Arquimedes ou bomba de parafuso é uma máquina utilizada para transferir líquidos entre dois pontos com elevações diferentes. A sua invenção é atribuída a Arquimedes.

Esta máquina originalmente era constituída por um parafuso colocado dentro de um tubo cilíndrico oco. Pode ser vista como um plano inclinado (outra máquina simples) envolvido por um cilindro. A extremidade mais baixa é colocada na água e o parafuso é rodado (antigamente por um moinho de vento ou mesmo manualmente, atualmente por um motor elétrico). À medida que a extremidade inferior do tubo roda, este arrasta um determinado volume de água, que, à medida que o veio roda, vai deslizando para cima ao longo do parafuso até sair pela extremidade superior do tubo.

O espaço entre o parafuso e o cilindro não tem que ser estanque, uma vez que a quantidade de água arrastada pelo tubo a cada volta é relativa à velocidade angular do parafuso. Além disso, a água em excesso na secção mais elevada do parafuso é vertida para a anterior e assim sucessivamente, atingindo-se um tipo de equilíbrio durante a utilização desta máquina, o que evita a perda de eficiência da mesma.

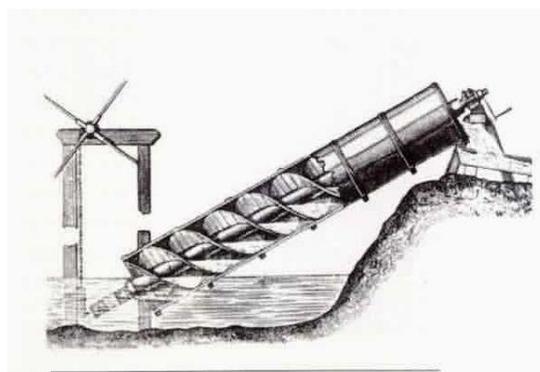
O parafuso não tem que obrigatoriamente girar dentro do cilindro, mas pode girar em conjunto com este desde que solidariamente. O espaço entre o parafuso e o cilindro pode ser vedado (por exemplo com uma resina) ou o mecanismo pode ser constituído por uma peça inteira de bronze, como supostamente era o caso na Babilónia.

Na antiguidade foram utilizados em sistemas de irrigação, pelos romanos, para retirar água de minas e mais tarde seriam utilizados pelos neerlandeses acoplados a moinhos de vento para drenar os polders. Podem também ser utilizados para bombeamento de lamas, betão e esgotos, uma vez que os sólidos não causam grandes problemas de funcionamento.

A partir da década de 1970, os Países Baixos aperfeiçoaram o parafuso de Arquimedes e este tipo de máquina hidráulica é muito utilizado atualmente em todo o mundo, sobretudo para grandes caudais e pequenas alturas (altura máxima de 5,0 m).

Existem algumas bombas de parafuso de 6 m de altura funcionando na Avenida Atlântica, em Copacabana, no Rio de Janeiro, para bombear os esgotos da zona sul dentro do interceptor até o emissário submarino de Ipanema. Na Embasa, Empresa Baiana de Águas e Saneamento da Bahia, existem cinco bombas parafuso bombeando esgoto a uma altura de 10 m.

Figura 13: parafuso de Arquimedes



Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/aulas/15380/imagens/arquimedes02.jpg>

Então através dessa invenção de Arquimedes, Brunel concluiu que se virarmos esse parafuso de lado e prendermos ele ao navio, a água será forçada para trás e o navio será empurrado para o lado oposto, assim foi criado o propulsor, que ao contrário das rodas de pás antigas, ficavam sempre submersos fornecendo assim a força máxima todo o tempo.

Figura 14: propulsor



Fonte: <http://www.ssgreatbritain.org/sites/default/files/kcfinder/images/dry-dock-propellor-580x340px.jpg>

## **4 - PROPULSÃO MECÂNICA (PROPULSOR COM HÉLICE)**

No princípio do século XX os navios movidos a rodas de água estavam completamente ultrapassados. O hélice em parafuso substituiu a roda de água devido à sua grande eficiência, reduzido tamanho, reduzida complexidade no sistema de transmissão e o facto de ser menos susceptível a danificar-se, especialmente se usada em guerra. Os projectos iniciais deviam muito ao desenho do parafuso comum, daí o seu nome. Mais tarde os hélices consistiam em duas pás que de perfil tinham o tamanho equivalente ao de uma rotação dum parafuso correspondente em diâmetro (daí a designação de passo do hélice). Este design era o mais comum, mas os inventores experimentaram diferentes tamanhos de perfil e várias pás. O design do hélice estabilizou por volta de 1880.

### **4.1 - Primeiro navio movido com propulsor com hélice**

O SS Great Britain foi o primeiro navio transatlântico a ter um casco e um hélice propulsora de Ferro e, quando lançado em 1843, era o maior navio da época. Foi originalmente projetado para carregar 120 passageiros de 1ª classe (26 dos quais em cabines separadas), 132 passageiros de segunda classe e 120 oficiais da tripulação, mas quando um convés extra foi construído sua capacidade aumentou para 730 passageiros. Em 26 de Julho de 1845, o navio fez sua viagem inaugural para Nova Iorque, uma jornada completada em 14 dias.

O SS Great Britain foi projetado por Isambard Kingdom Brunel, Thomas Guppy, Christopher Claxton e William Patterson para a Great Western Steamship Company e construído num dique seco especialmente adaptado em Bristol.

O lançamento ocorreu em 19 de Julho de 1843. As condições do tempo eram favoráveis mas jornais registraram que após um início maçante, o tempo melhorou com apenas algumas chuvas intermitentes. A atmosfera no dia pode ser melhor definida pela reportagem do dia seguinte no Bristol Mirror: "Largas multidões começaram a chegar cedo no dia incluindo muitas pessoas que viajaram a Bristol apenas para o espetáculo. O caminho havia sido limpo e decorado com bandeiras, flores e faixas. Meninos da City School e meninas da Red Maids foram enfileirados numa elegante

formação por todo o comprimento do navio. A rota do navio era uma massa de cores e todos estavam nas ruas como em um feriado. A atmosfera de alegria até permitiu que os problemas políticos de Londres fossem esquecidos".

Em Novembro de 1846, com apenas poucos anos após ter sido lançado, o navio encalhou nas areias da Baía de Dundrum, no condado de Dundrum na Irlanda e havia sérias dúvidas se seria possível desencalhá-lo. O próprio Brunel aconselhou que se havia um engenheiro naval que pudesse fazê-lo este seria Andrew Swan de Brisbane. Bremner foi contratado e o Great Britain foi desencalhado em Agosto de 1847. Entretanto, o custo de salvar o navio levou à falência a Great Western Steamship Company, e o SS Great Britain foi vendido e transformado em um barco de emigração.

O Great Britain passou então a fazer a maioria de suas viagens entre o Reino Unido e a Austrália. Em 1852, fez sua primeira viagem a Melbourne, Austrália, levando 630 emigrantes. O interesse pela embarcação foi tão grande na cidade que aproximadamente 4 000 pessoas pagaram um shilling para vê-lo.

Entre 1855 e 1858, também foi usado para transporte de tropas, durante a Guerra da Crimeia e a Revolta dos sipais e em 1882, foi transformado num veleiro, para transporte de carvão mas, depois de um incêndio a bordo em 1886, foi seriamente danificado. Foi então vendido para a Falkland Islands Company, permanecendo nas Ilhas Malvinas como navio cisterna para armazenamento de carvão até a década de 1930, quando foi sucateado e abandonado. No seu papel como reservatório de carvão, foi utilizado para reabastecer a marinha do Atlântico Sul que derrotou a frota do Almirante Graf Maximilian von Spee, durante a Primeira Guerra Mundial na Batalha das Ilhas Malvinas. Na Segunda Guerra Mundial, parte do seu aço foi utilizado para reparar o HMS Exeter, um dos navios da Marinha Real Britânica que foi seriamente danificado na Batalha do Rio da Prata, Atualmente é uma atração no museu do porto de Bristol.

Figura 15: SS GREAT BRITAIN

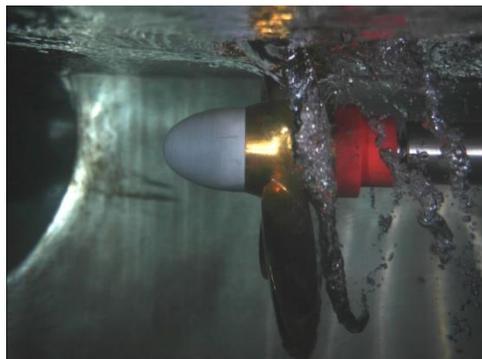


Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Ss\\_Great\\_Britain.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Ss_Great_Britain.jpg)

#### 4.2 - Principais problemas causados pelos propulsores

Um dos grandes problemas causados pelos propulsores é a ventilação, que ocorre quando o propulsor está parcialmente submerso ou muito próximo a superfícies e ele "suga" ar e outros gases, misturando-os na água. A presença de bolhas de gases na água reduz sua massa específica, reduzindo a pressão dinâmica. Portanto, todas as ações mecânicas exercidas pelo fluido ou sobre o fluido ficarão prejudicadas, como por exemplo a perda de eficiência na propulsão.

Figura 16: fenômeno de ventilação



Fonte: Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Cavitation\\_Propeller\\_Damage.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Cavitation_Propeller_Damage.JPG)

Outro grande problema causado pelos propulsores é a cavitação, que é um fenômeno decorrente da formação de bolhas de vapor nas regiões de baixas pressões, quando existe uma velocidade relativa muito alta entre um líquido e uma superfície sólida. O líquido fica cheio de cavidades correspondentes as bolhas de vapor formadas. Estas bolhas, em razão do fluxo, são levadas para regiões de altas pressões onde sofrem colapso (implodem). Pelo princípio da conservação de energia, a implosão das bolhas cria ondas de choque que, ao incidirem em qualquer superfície sólida provocam avarias ou trepidação.

Se  $\omega$  é muito elevada, a velocidade tangencial  $u$  será muito elevada, pelo teorema de Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$$

Se  $u$  é muito alta,  $p$  é muito baixa.

Para qualquer tipo de propulsor onde ocorra uma velocidade relativa muito alta entre a água e as partes sólidas, haverá o risco potencial de cavitação. Tal fato deve ser levado em conta, por ocasião do projeto e, também, na utilização do propulsor.

A consequência disto é que quando as bolhas de vapor encontram uma área de alta pressão e elas implodem, voltando ao seu estado líquido, a energia armazenada nessas bolhas de vapor é dissipada nesse colapso sob a forma de ondas de choque. Quando essas ondas encontram um meio sólido (casco ou hélice, por exemplo) ocorre um desprendimento de matérias desses meios. Esse desgaste ou erosão poderá causar o desbalanceamento do hélice ou propiciar a oxidação do casco.

Figura 17: Hélice danificada por cavitação



Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Cavitation\\_Propeller\\_Damage.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Cavitation_Propeller_Damage.JPG)

Para evitar esses problemas algumas atitudes foram tomadas um dos recursos foi embutir o hélice em um tubulão chamado de tubo Kort - Thruster, podemos ter um tuor Kort fixo e móvel (azimutal), a colocação do hélice nesse tubo aumenta o teste de tração estática e aumenta o bullard pull em torno de 30%, mas esse tipo de propulsor será tratado mais a frente com maiores detalhes.

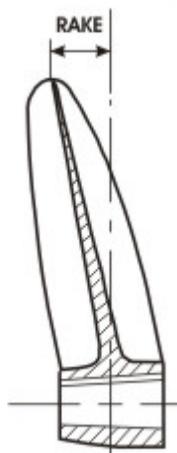
As outras medidas tomadas para evitar a cavitação foram entortar as pás do hélice para afastá-lo do casco (Rake) e entortar o hélice (skew). A distância das pontas das pás ao casco deve obedecer a um valor mínimo, de modo a assegurar que os esforços mecânicos de várias origens, induzidos pelo propulsor não sejam elevados ao ponto de causar vibrações indesejáveis ao casco. O Rake serve também para inibir ventilação e cavitação.

Dois problemas devem ser considerados o primeiro é que quanto menor a área das pás, menores serão as perdas por atrito (arrasto) e maior portanto a eficiência e o segundo é que quanto menor a área das pás, maior será a probabilidade de ocorrer o fenômeno de cavitação.

O caimento do Rake é uma inclinação do eixo das pás, em sentido longitudinal da embarcação (em geral para a ré). Trata-se de um recurso técnico utilizado para aumentar a distância entre as pontas das pás e o casco. O Rake pode também permitir

que o diâmetro do hélice seja aumentado, em função do tipo de popa utilizada. Em qualquer caso objetiva-se reduzir o risco do propulsor induzir vibrações indesejáveis ao casco.

Figura 18: Rake



Fonte: <http://www.ricepropulsion.com/TNL/Manuel/tnl52-1.jpg>

O skew ou assimetria do contorno em relação à linha geratriz da pá reduz o problema da cavitação intermitente, o que pode provocar erosão, desbalanceamento e vibrações induzidas pelo propulsor, quando está operando em campos não uniformes de velocidade.

O skew torna mais suave a passagem das pás do hélice nas diversas regiões de diferentes velocidades em campo de esteira, deste modo ficam reduzidas as flutuações ou variações de pressão junto as pás.

Figura 19: Skew



Fonte: <http://www.ricepropulsion.com/TNL/Manuel/tnl52-1.jpg>

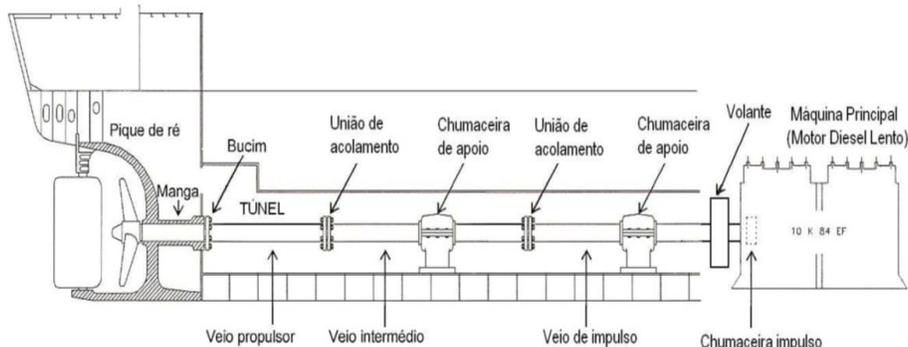
Tanto o rake quanto skew não introduz em diferenças significativas na eficiência dos propulsores, em condições normais de operações a vante. No entanto em operações à ré, os hélices com tais características apresentam certa redução na eficiência, porém de acordo com estudos recentes recomenda-se cautela ou mesmo a não utilização do rake e skew para embarcações fluviais, tendo em vista problemas específicos a este tipo de navegação, normalmente relacionadas ao calado e a profundidade dando-se preferência ao tubo Kort.

#### 4.3 - Tipos de propulsão

Quando falamos em tipo de propulsão podemos citar dois tipos, a propulsão direta e a propulsão indireta, cada um com seus sistemas e componentes característicos.

Na propulsão direta a máquina principal e o hélice operam com bom rendimento à mesma velocidade de rotação. A máquina principal aciona a linha de veios, onde está montado o hélice (propulsor). Os componentes da propulsão direta são: máquina principal, que podem ser motores a diesel lento e de dois tempos, as linhas de veios, que são acionadas diretamente pelos motores, e os hélices (propulsores) que podem ser de passo fixo ou variável.

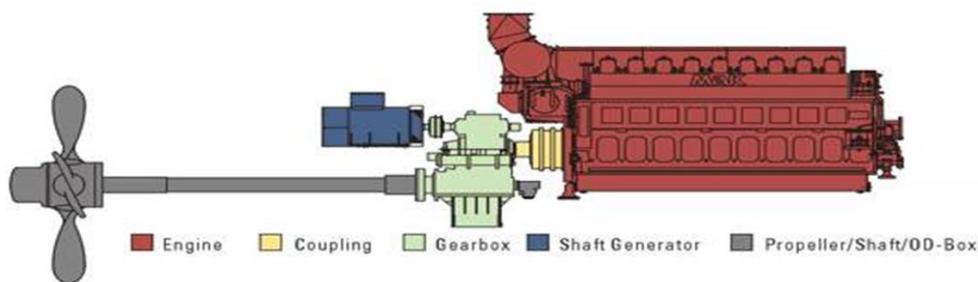
Figura 20: sistema de propulsão direta



Fonte: [http://images.slideplayer.com.br/3/1234578/slides/slide\\_7.jpg](http://images.slideplayer.com.br/3/1234578/slides/slide_7.jpg)

Na propulsão indireta a máquina principal opera apenas com bom rendimento a uma velocidade de rotação superior à do hélice. A máquina principal aciona a linha de veios através de uma caixa de engrenagens redutoras, de forma que o hélice opera com rendimento mas a uma rotação mais baixa, seus componentes são divididos em máquina principal (onde podemos ter motores diesel de dois tempos, quatro tempos de média velocidade, turbinas a vapor e turbinas a gás), linha de veios que possuem caixa de engrenagem e redutoras e os hélices que normalmente são de passo variável.

Figura 21: sistema de propulsão indireta



Fonte: [http://images.slideplayer.com.br/3/1234578/slides/slide\\_10.jpg](http://images.slideplayer.com.br/3/1234578/slides/slide_10.jpg)

#### 4.4 - Tipos de hélice

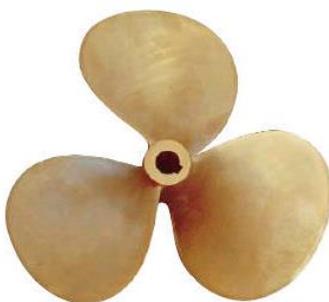
Cada hélice é um compromisso: algumas pessoas querem a máxima velocidade, outras uma velocidade econômica de cruzeiro, outras, a maior aceleração possível. E bem capaz que hoje você tenha o hélice "incorreto" para o uso que você faz do seu

barco, mas talvez este seja o hélice certo segundo o critério de outra pessoa. A seleção de um hélice influencia dramaticamente nas características de manobra, aceleração, velocidade máxima, economia de combustível e segurança. Com a combinação certa de casco, motor e hélice, um barco tem excelente performance. Mas se não estiver correta, consumo excessivo de combustível, despesas com reparos e baixa performance serão companheiras a bordo. Quando se fala sobre hélices surge uma quantidade enorme de nomes e definições que deixam as pessoas confusas quando tentam conhecê-los pela primeira vez então serão mostrados alguns tipos de hélice.

#### 4.4.1- Hélice de passo constante

Passo constante significa que este é igual ao longo da pá, desde o bordo de ataque até o de fuga, as pás não apresentam curvatura, esse tipo é utilizado em alguns tipos de tunnel thrusters.

Figura 22: Hélice de passo constante



Fonte: [http://img.nauticexpo.fr/images\\_ne/photo-g/helice-bateau-pas-fixe-arbre-helice-3-pales-25344-397411.jpg](http://img.nauticexpo.fr/images_ne/photo-g/helice-bateau-pas-fixe-arbre-helice-3-pales-25344-397411.jpg)

#### 4.4.2- Hélice de passo fixo

É o mais utilizado em quase todos os tipos de navios mercantes, sendo constituído por três ou mais pás rigidamente fixadas ao cubo, para um observador colocado a ré do navio e voltado para a proa, na marcha a vante o hélice roda em um sentido e na mudança de marcha, se colocado a marcha ré, o hélice roda no sentido contrário, a velocidade do navio regula-se através da variação de velocidade de rotação

do hélice e por isso da máquina principal, a paragem e a inversão de marcha do navio, implica normalmente a paragem e novamente no arranque da máquina principal em sentido contrário. Os navios podem ter dois ou mais hélices, além disso os ângulos das pás não podem ser controlados.

Figura 23: hélice de passo fixo



Fonte: [http://i00.i.aliimg.com/img/pb/703/138/425/425138703\\_878.jpg](http://i00.i.aliimg.com/img/pb/703/138/425/425138703_878.jpg)

#### 4.4.3- Hélice de passo Controlável

Hélices de passo controlável para sistemas de propulsão marítima foram projetados para dar a maior eficiência de propulsão em uma ampla faixa de velocidade condições e carga. Quando o navio está completamente carregado, a propulsão requerida é muito maior do que se o navio estivesse vazio. Ao ajustar o passo das pás, a máxima eficiência pode ser obtida e pode haver economia de combustível. A hélice de passo controlável tem uma disposição de "palhetas", que são úteis quando combinadas com vela/motor, já que essa disposição dá menor resistência à água quando não estiver usando a hélice (por exemplo, quando as velas são usadas), além disso ela dispensa caixas inversoras.

Figura 24: hélice de passo controlável



Fonte: <http://www.kamome-propeller.co.jp/products/propeller/cpp/img/photo-a01.jpg>

Neste tipo de hélice as pás são montadas separadamente no cubo e podem sofrer um deslocamento angular durante a rotação do hélice, as pás são acionadas por um sistema hidráulico, que faz variar o passo. O início da marcha, a regulação de velocidade, a paragem e a inversão de marcha do navio, realizam-se sem que seja necessário parar a máquina principal, este tipo de hélice são indicados para navios que tenham que variar com frequência as suas condições de operação. A máquina principal pode operar sempre no regime mais eficiente, uma vez que o impulso é controlado pela regulação do passo do hélice.

Figura 25: hélice de passo controlável



Fonte: [http://i00.i.aliimg.com/img/pb/703/138/425/425138703\\_878.jpg](http://i00.i.aliimg.com/img/pb/703/138/425/425138703_878.jpg)

#### 4.4.4 - Hélice em dutos

Esse tipo de hélice é utilizado em navio que requerem grande capacidade de tração a baixas velocidades, como o caso de rebocadores. As características desse hélice é que ele trabalha no interior de uma tubeira (POD) que pode ser fixa, ou não, ao casco do navio.

A forma geométrica desse tubo é ligeiramente cônica, que pelo seu diâmetro, que é o dobro do comprimento, decresce na direção da popa, a fim de acelerar o escoamento da água em seu interior. O rendimento de propulsão aumenta relativamente ao obtido com o hélice tradicional para cargas elevadas e baixas velocidades de operação.

Para velocidades de operação mais elevadas, a resistência ao avanço da própria tubeira faz diminuir o rendimento da propulsão, entretanto em alguns navios, como rebocadores e barcaças de rio, o sistema integrado de tubeira e hélice pode rodar, de modo a ser manobrados de forma mais eficiente.

Figura 26: hélice em dutos



Fonte: [http://i00.i.aliimg.com/img/pb/703/138/425/425138703\\_878.jpg](http://i00.i.aliimg.com/img/pb/703/138/425/425138703_878.jpg)

## 5 - PROPULSORES MECÂNICOS

O propulsor é um equipamento que, feita em sua maior parte por materiais metálicos, é usado normalmente em veículos de locomoção, para gerar o seu empuxo. Este empuxo é cometido pelo propulsor mediante fontes de energia, que participam do processo de combustão ou transformação química. Este é obtido conforme a terceira lei de Newton, pela diferença da quantidade de movimento aliada ao fluxo de entidades químicas e físicas energizadas (matéria, ondas, íons ou campos magnéticos) que passam pelo propulsor. Por meio do Efeito Joule. Construtivamente são compostos de um cubo (conectado ao eixo propulsor) ao qual um core (núcleo) é encarregado de gerar energia propulsora.

### 5.1- Propulsor kappel e propulsor *end-plate*

Ambos os propulsores são o que nós temos de mais simples, eles não possuem nenhuma particularidade foi apenas uma evolução do primeiro propulsor de pás retas, porém essas mudanças já melhoraram muito alguns aspectos de rendimento. Suas características são marcadas por evitar vórtices nas pontas das pás, melhorar a eficiência de propulsão entre outros a única diferença entre os dois é que um possui a curvatura para o lado de baixa pressão (Kappel) e o outro possui a curvatura para o lado de alta pressão, outra particularidade do *end-plate* é que ele possui placas nas pontas o que dá a ele uma pequena vantagem sobre o propulsor Kappel.

Figura 27: propulsor kappel

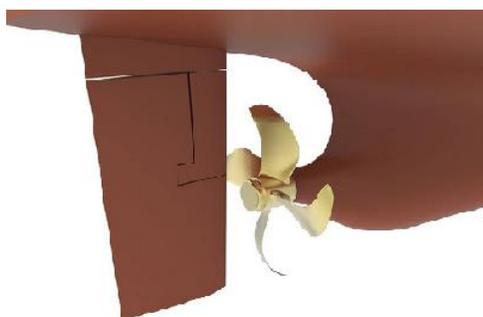


Figura 28: propulsor *end-plate*

Fonte: [http://www.sva-potsdam.de/assets/drgalleries/138/big\\_propdesign\\_bionik.jpg](http://www.sva-potsdam.de/assets/drgalleries/138/big_propdesign_bionik.jpg)

## 5.2- Sistema de dois hélices

Este foi o primeiro recurso a ser utilizado pelas embarcações *supply* para aumentar a manobrabilidade e dar mais segurança nas operações *offshore*. A embarcação tem dois motores de combustão principais, cada um com seu eixo e propulsor, e depois de cada hélice, existe um leme (ambos os equipamentos deveriam ser iguais). As principais características do sistema são: repartição da carga, redução da possibilidade de trepidação, redução da curva de giro através da inversão do sentido dos propulsores (um a vante e outro a ré) e a capacidade de mover a popa lateralmente.

A propulsão com dois eixos oferece maior manobrabilidade e redundância, e ainda podem ser adotadas quando a potência exigida ultrapassa os limites da configuração com eixos simples (por exemplo, restrição de calado e diâmetro do propulsor).

Figura 29: Sistema de dois hélices



Fonte: <http://www.naval.com.br/blog/wp-content/uploads/2010/04/DDG-Curtis-Wilbur-screws.jpg>

### 5.3- Propulsores com duplo hélice -Hélices Gêmeas - *Twin Propellers*

Este propulsor é composto de dois hélices montados num mesmo eixo, girando na mesma direção e aletas direcionais integradas ao propulsor. A distribuição da potência nos dois hélices contribui para uma diminuição da carga na superfície das pás outro detalhe é a recuperação das perdas rotacionais do hélice frontal através do sistema condutor integrado composto de tubo de governo e sistema de difusor integrado (aletas)..As vantagens desse propulsor é que ele é altamente confiável, construção simples com poucas peças móveis, redução do diâmetro do hélice, baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção. Esse propulsor tem 20% a mais de eficiência propulsiva comparado a propulsores comuns, apenas um pacote de vedação adicional menor risco de cavitação devido à menor carga nos hélices menos flutuação na pressão e diminuição nas emissões de ruídos

Figura 30: *Twin Propellers*

Fonte: <http://www.pocruises.com/emailCampaign/Azura/June09/images/Azura5.jpg>

#### 5.4- Propulsor contra-rotativo

Hélices contra rotativas usam uma segunda hélice que gira no sentido contrário à hélice principal, para aproveitar a energia cinética perdida no movimento circular do escoamento. A contra rotação é também uma maneira de aumentar a potência sem aumentar o diâmetro da hélice e anular o efeito de torque nos motores de alta potência assim como os efeitos de precessão giroscópica.

Contra-rotativo, também conhecido como coaxial contra-rotativo, é uma técnica em que as peças de um mecanismo giram em sentidos opostos com um eixo comum, geralmente, para minimizar o efeito de torque. Os exemplos incluem algumas hélices de aeronaves, resultando na potência máxima de um único pistão ou motor turbohélice para movimentação de duas hélices em rotação contrária. Contra-hélices girando também são comuns em algumas redes de transporte marítimo, em particular para grandes barcos de alta velocidade com casco de aplainamento. Duas hélices estão dispostas uma atrás da outra, e a energia é transferida do motor através de engrenagens planetárias de transmissão. A configuração também pode ser usada no projeto de helicópteros, onde as questões são semelhantes e princípios de torque são aplicados.

Hélices contra-rotativas não devem ser confundidas com hélices em contra-rotação, um termo que descreve hélices não coaxiais; uma delas com giro em sentido horário e a outra com giro em sentido anti-horário. Hélices contra-rotativas são utilizadas também para proporcionar thrust ou impulso para barcos, pelas mesmas razões. Existem várias vantagens para a utilização desse tipo de propulsor como por exemplo: Hélices contra rotativas eliminam as perdas rotacionais, não produzem forças laterais e minimizam a cavitação, a área aumentada das pás permite a utilização de relações de engrenagem maiores, mais energia pode ser transmitida para um dado raio de hélice, a eficiência da hélice é normalmente aumentada.

Porém possuem algumas desvantagens também como por exemplo: A instalação mecânica de eixos coaxiais de contra rotação é complicada, cara e requer mais manutenção e os ganhos hidrodinâmicos são parcialmente reduzidos em perdas mecânicas nos eixos.

Figura 31: Propulsor *Contra-rotativos*



Fonte: <https://navalunivali.files.wordpress.com/2009/08/azipod2.jpg?w=468>

### 5.5- Unidades auxiliares de propulsão

São unidades de propulsão de pequena potência, constituídas por hélice de passo variável instalados em túneis circulares situados na proa (*bow thruster*) e na popa (*stern thruster*) na direção transversal do navio. Permitem melhorar a capacidade de manobra do navio quando a velocidade for muito baixa, pois nestas circunstâncias a ação do leme é pouco eficiente, normalmente possui portas que estão fechadas durante a navegação.

Além desses dois tipos nós temos também o Propulsor lateral (*lateral Thrust Units*), este propulsor é posicionado lateralmente nos navios e tem uma melhor eficiência em manobras maiores, este propulsor é atualmente aplicado tanto na proa quanto na popa. É comum encontrar este tipo de propulsor em embarcações de apoio offshore.

### 5.6- Propulsor cicloidal (*Voith Schneider*)

Este sistema possui as pás posicionadas na vertical, é um exemplo de propulsor de sucesso e muito solicitado em embarcações rebocadoras, pois dispensa o leme além de proporcionar imediata resposta ao comando. Sua rapidez na transição de direção e intensidade de empuxo permite, inclusive, que a embarcação anule o efeito de ondas, tornando-se absolutamente estável.

Figura 32: Propulsor *Voith Schneider*

Fonte: [http://www.fad.co.za/Resources/sa-ships/vtmh\\_amv\\_fliegenderVSP.jpg](http://www.fad.co.za/Resources/sa-ships/vtmh_amv_fliegenderVSP.jpg)

### 5.7- Propulsor azipod e azimutal

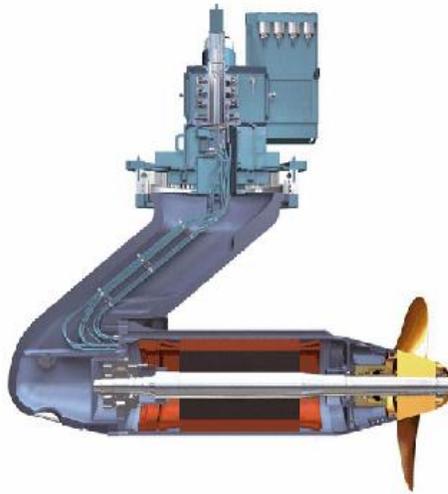
É um propulsor no qual o motor que fornece potência ao hélice pode estar dentro do pod (azipod) ou fixo no casco do navio (azimutal). Na maioria dos propulsores do tipo azipod, o pod consegue girar 360 graus e nos dois tipos de propulsão não há a necessidade de leme. Estas características facilitam as tarefas que exigem uma boa manobrabilidade.

Seu princípio é a substituição do hélice com eixo fixo, que produz uma força sempre na direção longitudinal, por um propulsor que pode mudar o sentido de sua corrente de descarga dirigindo sua força para qualquer ponto do azimute da embarcação.

Eles possuem grande vantagem sobre os outros propulsores já que não precisam de leme para governar, pois o propulsor, com sua atuação de 360 graus, já fazem esse papel, manobrabilidade e desempenho hidrodinâmico, mesmo em severos ambientes antárticos e *offshore*, combinado com uma planta de energia elétrica, a propulsão azipod proporciona melhor distribuição e aproveitamento dos espaços de máquinas e carga, e, ainda, níveis reduzidos de ruído e vibração, menor tempo de indisponibilidade, maior segurança e mais redundância;

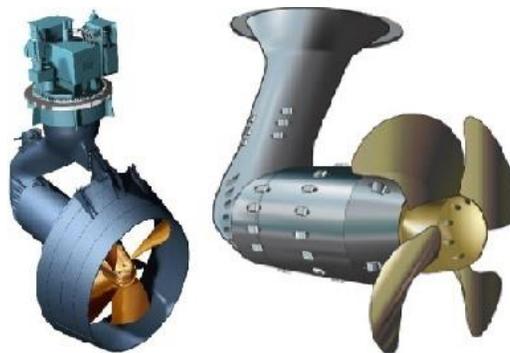
Devido a hidrodinâmica avançada, a unidade azipod possui excelente desempenho de campo de esteira (*wake field*).

Figura 33: Propulsor Azipod



Fonte: [http://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2010/12/azipod\\_cz\\_thruster\\_large.jpg](http://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2010/12/azipod_cz_thruster_large.jpg)

Figura 34: Propulsor Azimutal



Fonte: <http://www.defesabr.com/MD/Planobrasil/Programatitan/Azimutal.jpg>

## 6 - PROPULSÃO ELÉTRICA

Após a segunda guerra mundial rebocadores de alto mar foram produzidos com um arranjo de propulsão similar aos de propulsão elétrica, porque tinha a vantagem de permitir variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor, característica muito importante em fainas de reboque e salvamento.

Na década de 70 começaram a surgir soluções para auxiliar as embarcações de apoio marítimo no seu fim as junto às plataformas. Em meio a essas soluções veio o posicionamento dinâmico onde um processador digital recebe informações de uma referência, como o Sistema Global de Posicionamento ou outra referência na plataforma e ainda, informações da agulha giroscópica e do anemômetro da embarcação.

A maior vantagem da propulsão elétrica é que ela proporciona uma alta manobrabilidade e conseqüentemente uma maior segurança, evitando acidentes como encalhamento de navios e até mesmo colisão de embarcações de apoio marítimo com plataformas, porem requer uma corrente muito alta nos momentos de manobra e mudança de rotação, por isso foi desenvolvido um modo de minimizar esse problema que é a utilização de sistemas azimutais. A propulsão elétrica é dividida em propulsão Azipod e propulsão Azimutal.

### 6.1- Propulsão elétrica azipod

Azipod® é marca registrada da ABB, termo que significa pod + Azimuth. “pod” é devido ao formato do thruster e “AZI” de azimuth por conta da capacidade de giro de 360 graus.

O azipod é um motor elétrico fixado fora do casco. seu induzido é o eixo propulsor, que possui hélices de passo fixo. desta forma, o sentido e a velocidade da hélice é controlado por um inversor de frequência. Esta tecnologia é extremamente eficaz na manobra da embarcação e sua potência pode atender aos mais variados tipos de embarcações. Sistemas Azipod usados em navios é uma combinação dos sistemas de direção e propulsão. No sistema de propulsão convencional, um grande motor de dois tempos é conectado ao eixo, o qual atravessa um túnel via tubo telescópico e se conecta ao hélice pela parte externa do casco na popa do

navio. Então, no arranjo azipod, os sistemas de propulsão e de manobra são combinados e fabricados em uma única peça. O sistema consiste de um hélice o qual é manobrado por um motor elétrico e o hélice é girado pelo leme que é conectado ao sistema. O motor é localizado dentro do casulo selado e é conectado ao impelidor. O termo POD vem de Propulsion with Outboard Electric motor (Propulsão com motor elétrico externo). O conjunto completo do sistema azipod é localizado na parte externa do casco na popa do navio. Esse sistema pode girar em todas direções (360 graus) com a ajuda de um leme e assim fornecer empuxo em qualquer direção, o que não é possível no sistema convencional.

O sistema Azipod é um tipo de sistema de propulsão elétrica que consiste de três componentes principais:

- 1) Transformador de Suprimento: A potência fornecida pelos geradores pode ser tão elevada quanto 6600 KV, a qual é reduzida para a tensão necessária pelo transformador de suprimento e deste é fornecido ao motor disposto no interior do casulo (POD).
- 2) Motor de Propulsão: O motor de propulsão é utilizado para produzir empuxo ou para dirigibilidade. O sistema precisa de algum método para girar o impelidor e isto é feito com auxílio de motor elétrico.
- 3) Controlador/Conversor de frequência: É utilizado para mudar a frequência da potência suprida de maneira que a velocidade de rotação do motor possa ser controlada dependendo da necessidade.

As vantagens desse tipo de propulsão são inúmeras como por exemplo capacidade de atender mudanças bruscas de cargas, dispensa o uso de leme, níveis baixos de ruído e vibração, espaço no casco que anteriormente era reservado para a propulsão pode ser utilizado para outros propósitos, capacidade de manobra significativamente melhor que os sistemas de leme convencional, pois o próprio propulsor pode girar em torno do seu eixo, comandando a direção do navio como se fosse o leme, excelente capacidade de reversão durante a navegação à ré e melhor resposta no caso de desaceleração,baixo consumo de combustível,acarretando baixas emissões de gás carbônico e excelente desempenho em campo de esteira (wake field),porém existem algumas desvantagens como custo inicial elevado, limitação da

potência produzida pelo motor , grande número de motores diesel são necessários para produção necessária de energia, não pode ser instalado em grandes navio com grandes capacidades de carga os quais precisão de muita potência e grandes motores.

### **6.2- Propulsão elétrica azimutal**

É um thruster que pode ser retrátil, rebatível, ou fixo quando usado para propulsão. A máquina motriz fica dentro da embarcação, poder ser um motor elétrico alimentado por gerador ou um motor diesel, a hélice pode ter passo variável com acionamento hidráulico ou fixo controlado por inversor de frequência, neste caso a máquina motriz será obrigatoriamente um motor elétrico. Este tipo de thruster usado como propulsor é mais simples e mais comum em pequenas embarcações. Uma das características principais do propulsor azimutal é que esse sistema de propulsão é capaz de converter a potência do motor em empuxo otimizado

Esse tipo de propulsão possui inúmeras vantagens também como por exemplo, eliminação de mancais de sustentação e escora, eliminação de caixas redutoras, eliminação de eixos propulsores, dispensa do mcp, dispensa de máquina do leme, diminuição severa na quantidade de trocadores de calor, redução de vibração, redução da manutenção e seus gastos associados, redução da emissão de nox, pois devidos a modificações nas plantas de geração de energia o sistema atende facilmente as normais imo *tier i* e *tier ii* que passou a ser cobrada a partir de janeiro de 2011.

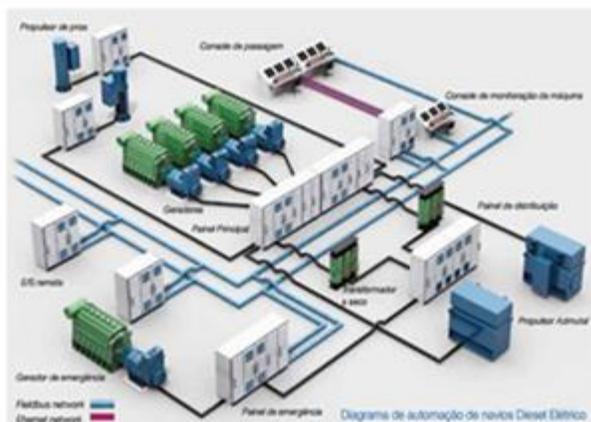
### **6.3- Propulsão diesel-elétrica com propulsores azimutais**

A característica principal é que não há maquina de combustão principal (mcp), somente geradores diesel-elétricos fornecendo a energia para a embarcação, ainda ocorre a redução de vibração, redução da manutenção e seus gastos associados e redução da emissão de óxidos de nitrogênio, que poluem o ar, com a saída do mcp alguém deverá suprir potência para estes propulsores, neste caso saem os mcp's entram as maquinas de combustão auxiliares (mca's).

As vantagens desse sistema são , modularidade e flexibilidade de distribuição dos componentes permitindo a redundância e reconfigurações, não são necessários motores auxiliares, o que resulta na redução de equipamentos instalados, não é

necessário haver o alinhamento das máquinas acionadoras principais com as linhas de eixo, tornando desnecessária a utilização de engrenagens redutoras, redução dos níveis de ruídos e vibrações, os motores elétricos apresentam assinaturas acústicas menores, redução dos custos de instalação e de manutenção, redução na emissão de poluentes atmosféricos, atendendo ao anexo vi da MARPOL e aumento na vida útil das embarcações.

Figura 35: sistema diesel-elétrico azimuthal



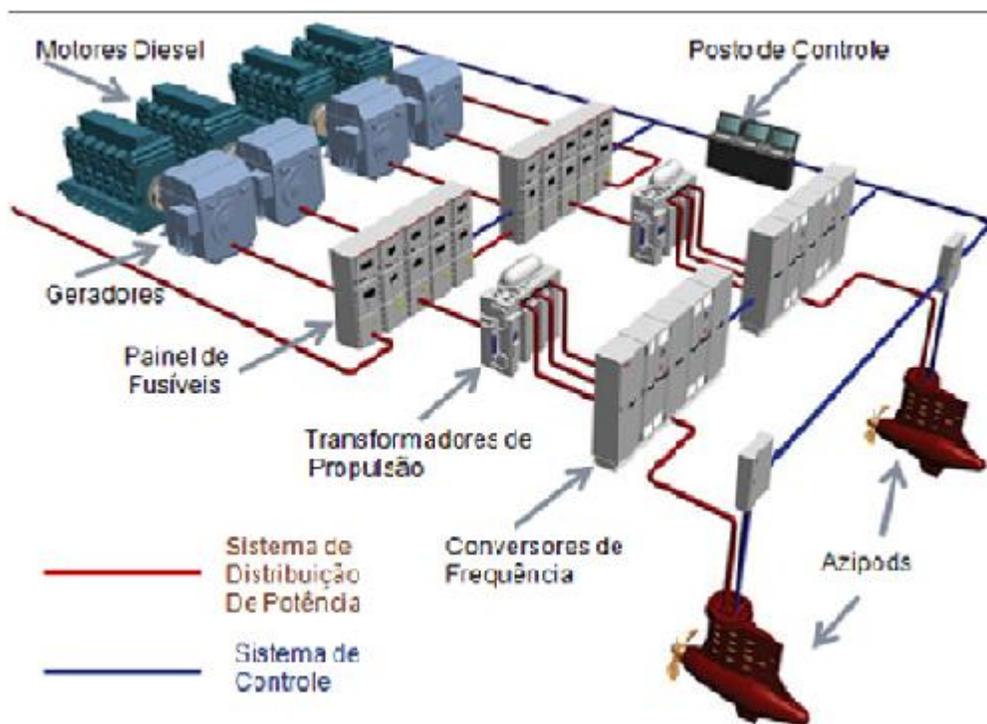
Fonte: GERK, Hermann Regazzi, Curso de Hidrodinâmica

#### 6.4- Propulsão diesel-elétrica com propulsores azipod

Utiliza uma ou mais unidades constituídas de um motor elétrico e um hélice, conjunto é acoplado a estrutura do navio, dando capacidade ao navio girar 360 graus, permite eliminar o sistema de governo, o leme, pois o fluxo de água é direcionado pelo AZIPOD.

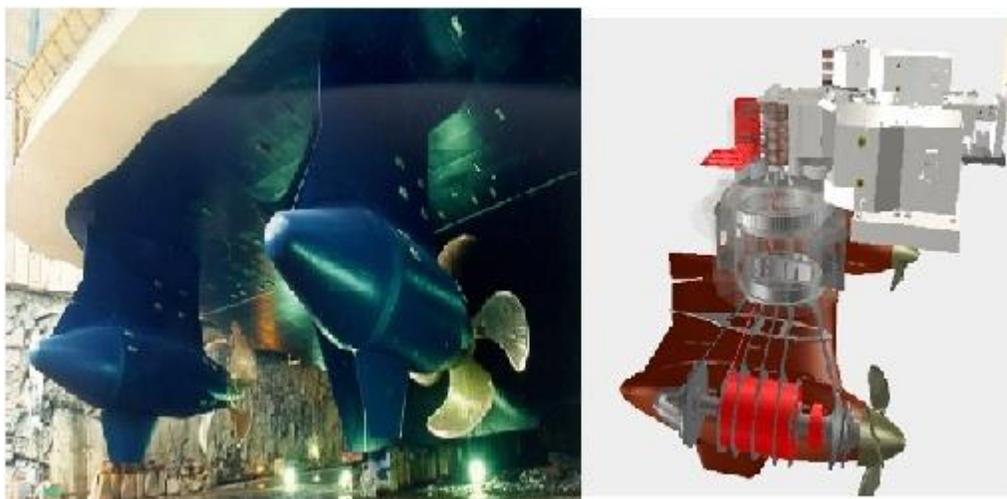
As perdas de potência nas caixas de engrenagem e linhas de veios, são eliminadas e o espaço ocupado pode ser utilizado para outros dispositivos, proporciona maior estabilidade ao navio e uma redução média de 15% no consumo de combustível, quando usa dois hélices, operam em contra-rotação.

Figura 36: sistema diesel-elétrico azipod



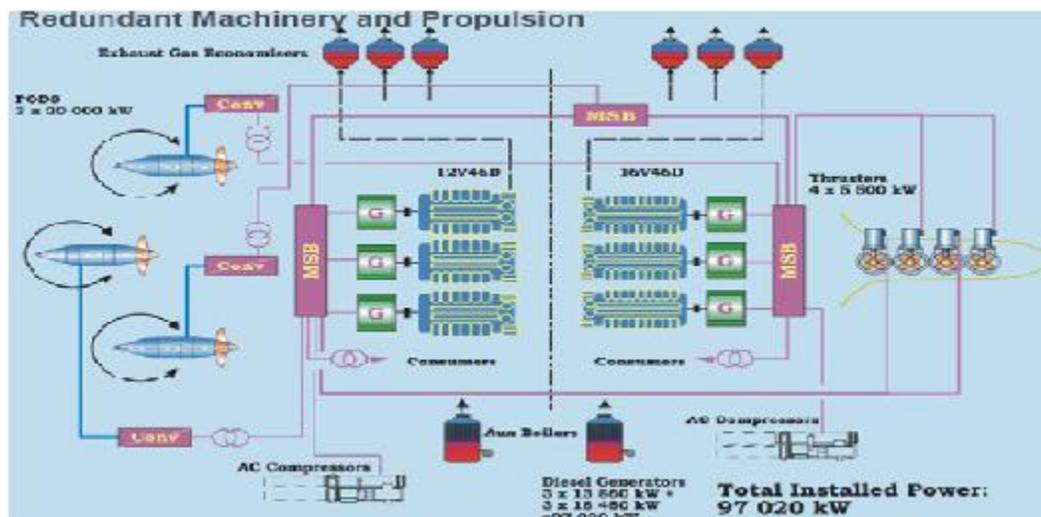
Fonte:GERK,Hermann Regazzi,Curso de Hidrodinâmica

Figura 37: Propulsão Diesel-Elétrica com sistema AZIPOD



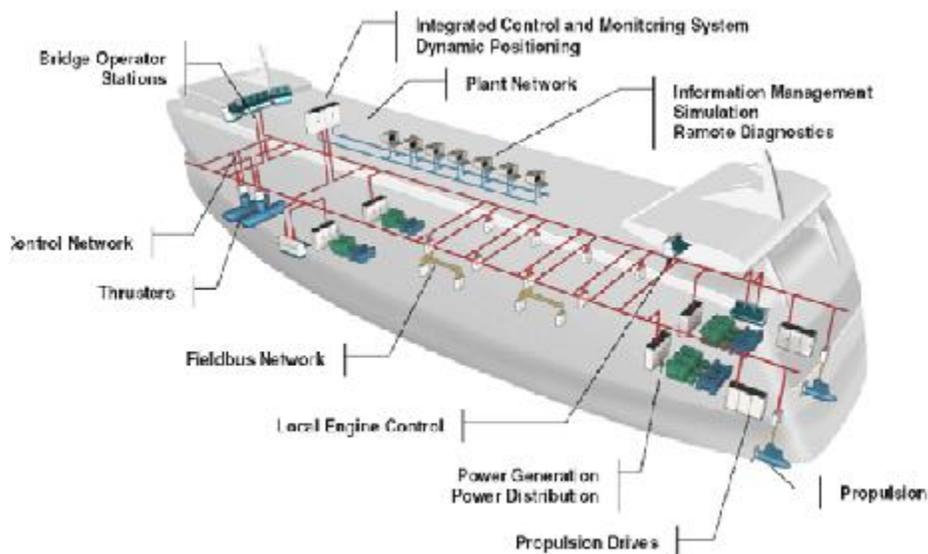
Fonte:GERK,Hermann Regazzi,Curso de Hidrodinâmica

Figura 38: instalação propulsora com sistema AZIPOD



Fonte:GERK,Hermann Regazzi,Curso de Hidrodinâmica

Figura 39: Propulsão diesel-elétrica com sistema integrado de propulsão AZIPOD

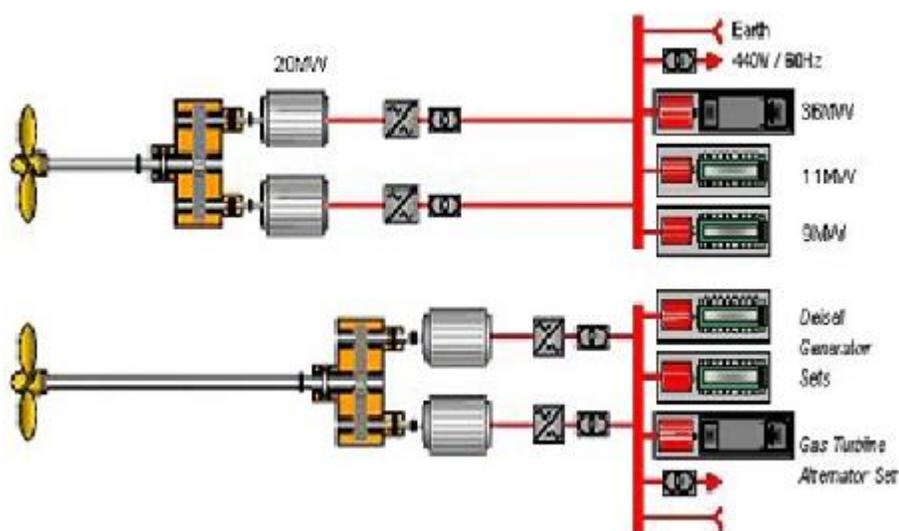


Fonte:GERK,Hermann Regazzi,Curso de Hidrodinâmica

### 6.5-Propulsão combinada de diesel-elétrica e gás

Utiliza motores Diesel gerar ENERGIA ELÉTRICA que irá alimentar os motores de propulsão do navio em velocidade de cruzeiro, para aumentar a velocidade o navio se utiliza de uma turbina a gás auxiliar para aumentar a potência elétrica total utilizada para propulsão

Figura 40: Sistema Propulsão combinada de diesel-elétrica e gás

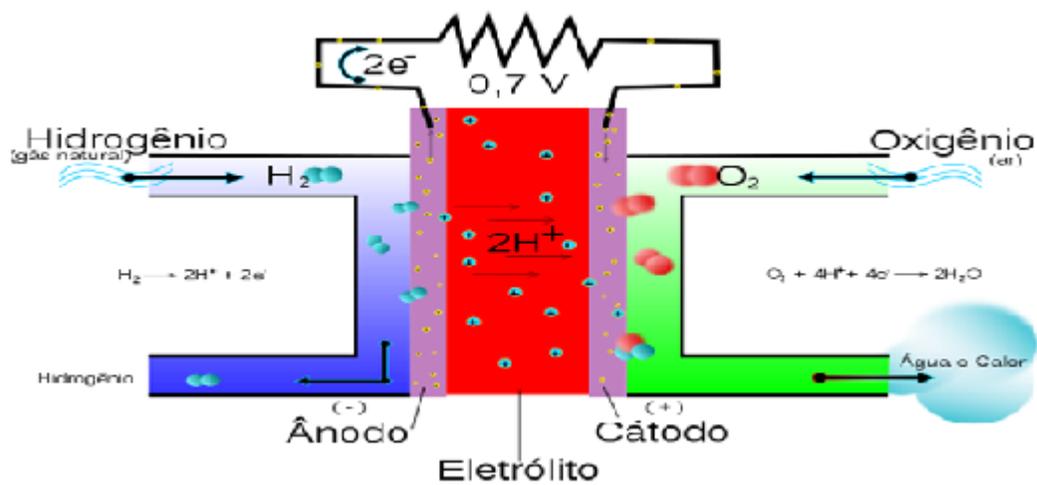


Fonte:GERK,Hermann Regazzi,Curso de Hidrodinâmica

### 6.6-Propulsão elétrica utilizando células de combustível

Uma célula de combustível converte o hidrogênio diretamente em eletricidade, não possui partes móveis, tem elevado rendimento em conversão, a reação da célula de combustível é semelhante do ponto de vista químico em um processo de combustão: o hidrogênio se combina com o oxigênio e liberta vapor de água, a reação produz calor que é retirado por um sistema de arrefecimento, a célula de combustível pode ser utilizada para substituir um grupo gerador diesel, sistema sendo utilizado em novos submarinos: Sistema AIP (Air Independent Propulsion).

Figura 41: Sistema de propulsão elétrica utilizando células de combustível



Fonte:GERK,Hermann Regazzi,Curso de Hidrodinâmica

## 7 - Considerações finais

Após a conclusão do trabalho podemos observar que a evolução da propulsão marítima aconteceu de uma maneira muito rápida começando com a propulsão a vela e evoluindo para outros tipos de propulsão,essa evolução veio sempre com intuito de melhorar o rendimento do navio e obter mais lucros para os empresários,um ponto muito importante era a velocidade, quanto mais veloz, melhor o navio, então com o passar do tempo foram aparecendo novos meios de propulsão que fizessem uma mesma viagem em menos tempo,essa evolução veio acontecendo gradativamente,ao modo que se encontrava um fonte melhor de propulsão ,ou seja, um tipo de combustível melhor, foram aparecendo novos propulsores,novas hélices,combinações de propulsores e assim ate os dias de hoje. Atualmente o sistema de propulsão elétrica apesar de possuir um alto custo é mais vantajoso do que os outros sistemas,já que além de ter um aproveitamento maior na eficiência do motor o sistema de propulsão elétrica também polui bem menos do que os que utilizam combustíveis fósseis,outra vantagem desse sistema é que ele aumenta consideravelmente a manobrabilidade dos navios,dispensa o uso de leme,não possui caixa de marcha e eixo diminuindo os equipamentos abaixo do navio, porém esse sistema ainda não é o mais utilizado,a maioria dos navios ainda utilizam os sistemas tradicionais com máquinas de combustão e usando combustíveis fósseis,mas a tendência é que no futuro quase todos os navios usem a propulsão elétrica como a principal fonte de propulsão do seu navio,isso porque alem de todas as vantagens já citadas ela possui uma qualidade que nos tempos atuais é a mais importante que é a questão da poluição tanto marinha,quanto a poluição do ar que acontecia pela queima de combustível.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, ALLAN, **PROPULSÃO DE NAVIOS**, Rio de Janeiro: Allan Ahmed, 2015. 35 slides, color.

ANA NEMES, **Isambard Brunel: O Engenheiro que Revolucionou a Tecnologia do Transporte**, Disponível em : < <http://www.tecmundo.com.br/historia/52990-isambard-brunel-o-engenheiro-que-revolucionou-a-tecnologia-do-transporte.htm>> Acessado em : 02 de agosto de 2015.

**Barcos à Vapor**, Disponível em:<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Barco\\_a\\_vapor](https://pt.wikipedia.org/wiki/Barco_a_vapor)> Acessado em : 21 de julho de 2015.

**Barcos à Vapor com Rodas de Pás**, Disponível em:<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Barcos\\_a\\_vapor\\_com\\_rodas\\_de\\_p%C3%A1s](https://pt.wikipedia.org/wiki/Barcos_a_vapor_com_rodas_de_p%C3%A1s)> Acessado em : 19 de julho de 2015.

CAROLYNIE, **PROPULSÃO ELÉTRICA** ,Rio de Janeiro: Carolynie , 2015.17 slides, color.

**Discovery Channel**. Disponível em: <[http:// www.discovery.com/](http://www.discovery.com/)> Acessado em: 26 de julho de 2015.

DJONATAN GUILHERME ERBS SCHOEPING, Tese: **Projeto Preliminar de Sistema Propulsivo de uma Embarcação de Apoio Offshore do tipo Platform Supply Vessel** , Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville,2014. 75p.

GERK,Hermann Regazzi. **Hidrodinâmica para navegantes**. Rio de Janeiro: Hermann Regazzi Gerk, 2014. 134p.

**Great Britain**, Disponível em:< [https://pt.wikipedia.org/wiki/SS\\_Great\\_Britain](https://pt.wikipedia.org/wiki/SS_Great_Britain)> Acessado em : 20 de julho de 2015.

JUNIOR, LEANDRO TIMM MALTZ, **ESTRATÉGIAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EMBARCAÇÕES**, Rio de Janeiro: Leandro Timm Maltz Junior, 2015. 37 slides, color.

**National Geographic**. Disponível em: <[http:// www.nationalgeographic.com/](http://www.nationalgeographic.com/)> Acessado em: 31 de julho de 2015.

**Parafuso de Arquimedes**, Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Parafuso\\_de\\_Arquimedes](https://pt.wikipedia.org/wiki/Parafuso_de_Arquimedes) > Acessado em : 25 de julho de 2015.

**Propulsão Naval**, Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Propuls%C3%A3o\\_naval](https://pt.wikipedia.org/wiki/Propuls%C3%A3o_naval)> Acessado em : 17 de julho de 2015.

ROBERTO BARROS, **Uma Combinação Perfeita**, Disponível em : <<http://www.yachtdesign.com.br/portugues/noticias/191-pop-25-uma-combinacao-perfeita.php>> Acessado em : 29 de julho de 2015.

SÂMARA PINTO SOUZA, **Embarcações Especiais**, Universidade Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2010 Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABRUIAA/trabalho-embarcacoes-propulsao-naval-codog-cogog>> Acessado em : 15 de julho de 2015.

**Tipos de Velas**, Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Tipos\\_de\\_velas\\_\(n%C3%A1utica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tipos_de_velas_(n%C3%A1utica)) > Acessado em : 17 de julho de 2015.

**Vela**, Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Vela\\_\(n%C3%A1utica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Vela_(n%C3%A1utica)) > Acessado em : 18 de julho de 2015.