

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

**ISMAEL PEREIRA PATARO LOPES**  
**BRUNO RUY DOS SANTOS REIS**

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS DE PROPULSÃO MARÍTIMA**

**RIO DE JANEIRO**  
**2016**

**ISMAEL PEREIRA PATARO LOPES**

**BRUNO RUY DOS SANTOS REIS**

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS DE PROPULSÃO MARÍTIMA**

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

Orientador: MSc. Paulo Roberto Batista  
Pinto

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**ISMAEL PEREIRA PATARO LOPES**

**BRUNO RUY DOS SANTOS REIS**

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS DE PROPULSÃO MARÍTIMA**

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

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

Orientador: MSc.Paulo Roberto Batista Pinto

---

Assinatura do Orientador

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus por nos dar oportunidade e sabedoria para conquistar mais um objetivo na nossa vida. Agradecemos aos nossos pais, por sempre apoiarem e nos orientar. Agradecemos aos nossos amigos e colegas de escola que de alguma forma ajudaram a completar essa etapa e sempre acreditaram em nosso potencial. Agradecemos ao orientador, sem o qual não teríamos concluído este nosso trabalho.

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar os sistemas de propulsão existentes para navios e as possíveis modificações e melhorias que estão em desenvolvimento atualmente, com o intuito de aperfeiçoar a eficiência das máquinas propulsivas e reduzir as emissões poluentes. Para realização do mesmo, valeu-se de livros, publicações online e outros trabalhos como meio de pesquisa. Um breve histórico da origem da navegação e evolução dos sistemas de propulsão ao longo dos séculos, contribui para a compreensão do tema abordado. Adiante é explanado o funcionamento dos sistemas de propulsão utilizados em larga escala atualmente e finalmente as novas ideias que sugerem soluções para esta problemática.

Palavras-chave: Inovação tecnológica. Propulsão. Energia. Emissões poluentes.

## **ABSTRACT**

This article has the objective to present the propulsion systems that exist for freighters and its possible modifications and improvements that are being developed currently, with the intention to ameliorate the efficiency of the propulsive machines, and also reduce the mass emission of pollution. For its realizations, books have been used, and also online articles and publications, such as other kinds of work throughout our research. A brief timeline about the origins of navigation and the evolution of the propulsion systems through the centuries can be very helpful for those who aim to understand this article. Forward, the functionality of the propulsion systems used in large scale nowadays is explained, and finally the new ideas that are addressed to this subject.

Keywords: Technological improvements. Propulsion. Energy. Pollution emissions.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1: Galera Trirreme Romana</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2: Escoamento do vento através da superfície assimétrica da vela</b>	<b>14</b>
<b>Figura 3: Embarcação romana a vela</b>	<b>15</b>
<b>Figura 4: Locomotiva a vapor, um marco da revolução industrial</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5: Aeolipile, a primeira idéia de máquina a vapor</b>	<b>17</b>
<b>Figura 6: Esquema da máquina de Thomas</b>	<b>18</b>
<b>Figura 7: Esquema da máquina de Watt</b>	<b>18</b>
<b>Figura 8: Partes de uma máquina alternativa a vapor</b>	<b>19</b>
<b>Figura 9: Navio americano de rodas de pás</b>	<b>20</b>
<b>Figura 10: Savannah, o primeiro navio a vapor a realizar uma navegação oceânica.</b>	<b>21</b>
<b>Figura 11: Modelo atual de hélice propulsor</b>	<b>22</b>
<b>Figura 12: Esquema básico de um ciclo de operação de turbina a vapor</b>	<b>24</b>
<b>Figura 13: Rotor e estator de uma turbina a vapor</b>	<b>24</b>
<b>Figura 14: Funcionamento de motor 2 tempos do ciclo Otto</b>	<b>27</b>
<b>Figura 15: Ciclo de um motor 4 tempos Otto</b>	<b>28</b>
<b>Figura 16: Planta de geração de energia com motores diesel 4 tempos</b>	<b>30</b>
<b>Figura 17: Ilustração de um motor diesel 2 tempos marítimo</b>	<b>32</b>
<b>Figura 18: Motor diesel 2 tempos marítimo</b>	<b>33</b>
<b>Figura 19: Ciclo de operação de uma turbina a gás</b>	<b>34</b>
<b>Figura 20: Instalação propulsora a turbina a gás</b>	<b>35</b>
<b>Figura 21: Diagrama de automação de navios diesel elétrico</b>	<b>36</b>
<b>Figura 22: Propulsor Azipod</b>	<b>38</b>
<b>Figura 23: Motor de Yildiz</b>	<b>42</b>
<b>Figura 24: Disposição e polaridades dos ímãs no motor Yildiz</b>	<b>44</b>
<b>Figura 25: Muammer Yildiz com seu motor puramente magnético</b>	<b>45</b>
<b>Figura 26: Processo químico na célula a combustível</b>	<b>47</b>
<b>Figura 27: Projeto de veículo movido a pilhas de combustível</b>	<b>49</b>
<b>Figura 28: Imagem ilustrativa do Trimará Solar</b>	<b>50</b>
<b>Figura 29: Efeito Magnus</b>	<b>51</b>
<b>Figura 30: Navio E-Ship 1</b>	<b>51</b>
<b>Figura 31: Reação em cadeia de fissão de urânio</b>	<b>53</b>

<b>Figura 32: NS 50 LetPobedy</b>	<b>54</b>
<b>Figura 33: USS Enterprise</b>	<b>55</b>
<b>Figura 34: Instalação propulsora de turbina a vapor com utilização de energia nuclear</b>	<b>55</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 OS SISTEMAS DE PROPULSÃO DO PASSADO (DA ANTIGUIDADE ATÉ A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL)</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Canoas e Remos</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Vela</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Máquinas a Vapor</b>	<b>15</b>
2.3.1 Aeolipile	17
2.3.2 Máquina de Thomas	17
2.3.3 Máquina de Watt	18
2.3.4 Rodas de Pás	20
<b>2.4 O Surgimento do Hélice</b>	<b>21</b>
<b>3 OS ATUAIS SISTEMAS DE PROPULSÃO</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Máquinas de Combustão Externa</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Máquinas de Combustão Interna</b>	<b>25</b>
3.2.1 Conceitos Básicos	25
3.2.2 Motor de Combustão	26
3.2.3 Motores Ciclo Otto 2 tempos	26
3.2.4 Motores ciclo Otto 4 tempos	27
3.2.5 Motores Diesel a 4 Tempos	29
3.2.6 O Motor Diesel de Dois Tempos	30
<b>3.2.6.1 Particularidades construtivas</b>	<b>31</b>
3.2.7 Turbina a Gás	33
<b>3.2.7.1 Ciclo de Operação</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Propulsão Diesel Elétrica</b>	<b>35</b>
3.3.1 Azipod	37
3.3.2 Vantagens da propulsão AZIPOD®	38
<b>4 NOVAS TECNOLOGIAS E TENDÊNCIAS PARA O FUTURO</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Motores Magnéticos</b>	<b>39</b>
4.1.1 A explicação física	40
4.1.2 Motor Magnético	41
<b>4.2 Células a Combustível</b>	<b>45</b>
<b>4.2.1 Hidrogênio como combustível</b>	<b>46</b>

<b>4.3 Energia Solar</b>	<b>49</b>
<b>4.4 Energia Eólica</b>	<b>50</b>
4.4.1 Rotores Flettner	50
<b>4.5 Energia Nuclear</b>	<b>52</b>
4.5.1 Exemplo de aplicação em navios	53
<b>4.5.1.1 NS 50 LetPobedy</b>	<b>53</b>
<b>4.5.1.2 USS Enterprise</b>	<b>54</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial do séc. XIX e o advento das máquinas de combustão, os navios mercantes queimam combustíveis fósseis, o que a princípio seria uma grande conquista em relação ao aumento da autonomia das embarcações e expansão das rotas comerciais, mas este progresso se deu à custa do meio ambiente, que foi intensamente agredido com as emissões poluentes provenientes das queimas de carvão ou derivados do petróleo, e hoje vivemos num mundo onde os níveis de poluição estão beirando o absurdo e consequências já são estudadas e temidas. Além disso, constatou-se que um dia as reservas petrolíferas se esgotarão, fazendo com que a busca por outras fontes de energia seja essencial.

Os avanços tecnológicos existentes hoje possibilitam a existência de diferentes tipos de sistemas propulsivos, proporcionando uma redução no consumo de combustível, redução nos impactos ambientais, simplificação tanto no projeto quanto na construção, fazendo com que a utilização dos espaços a bordo seja mais bem gerenciada, além de melhorar o ambiente de trabalho da tripulação.

## **2 OS SISTEMAS DE PROPULSÃO DO PASSADO (DA ANTIGUIDADE ATÉ A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL)**

Desde a Antiguidade o mar tem sido essencial para a humanidade, tendo sua importância vinculada à pesca, comércio e transporte, sendo uma preciosa fonte econômica. No início da exploração marítima, as embarcações eram impulsionadas pela força humana, utilizando-se remos, o que limitava a distância navegável, e com o passar do tempo e com o desenvolvimento das civilizações surgiram as embarcações à vela (velas quadradas) na Grécia, Roma e Egito Antigos, utilizando a força do vento para empurrá-las. Isso permitiu o ser humano se afastar da costa, utilizando navios maiores que mesclavam a força braçal dos remadores e as velas quadradas, que só podiam ser utilizadas com vento a favor. Este problema foi resolvido posteriormente com o surgimento das velas latinas (triangulares), permitindo assim navegar a longas distâncias da costa, iniciando as grandes expedições marítimas e descobrimentos europeus no século XV.

A propulsão a vela foi utilizada nas grandes navegações até ser substituída pela máquina a vapor na Primeira Revolução Industrial. Durante o cruzeiro, as velas davam a força necessária para navegar, e os motores a vapor permitiam atingir velocidades maiores. Porém, demandava uma quantidade enorme de carvão, o que reduzia bruscamente a capacidade de carga do navio. A hélice, criada por John Ericsson, veio a resolver outro problema da máquina a vapor: inicialmente uma grande roda lateral era acionada, o que atrapalhava a regulagem das velas e as fainas marinheiras. Com a expansão das rotas marítimas e o aumento da demanda de carga, criação dos navios totalmente metálicos com hélice, a máquina a vapor se firmou como principal meio de propulsão naval no século XX.

Neste capítulo será apresentado o modo como estes meios de propulsão foram desenvolvidos e o impacto que provocaram na história da humanidade.

## 2.1 Canoas e Remos

“Tendo desde o princípio estado a serviço dos homens para facilitar os contatos, a água teve todo o tempo um papel considerável no desenvolvimento da civilização. Pode-se mesmo dizer que a história foi posta em marcha a golpes de remo.” (Pierre Carnac)

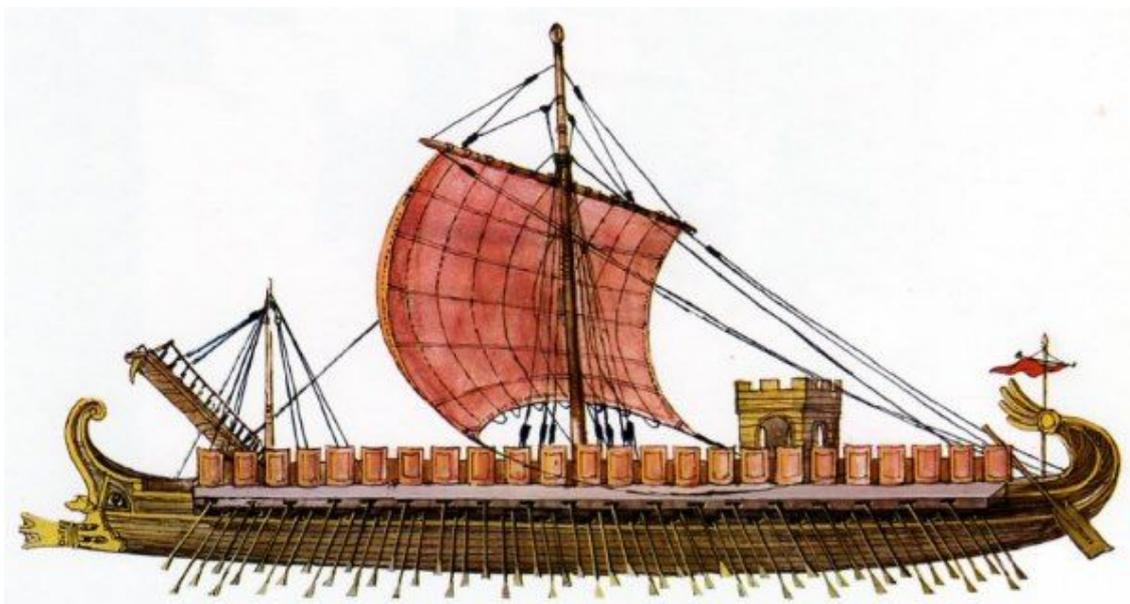
De acordo com Pierre Carnac, para os homens pré-históricos, os rios, lagos e mares representavam obstáculos extremamente difíceis de serem vencidos. Motivados pela necessidade de vencer a corrente líquida para pescar e se proteger de animais perigosos, inundações e incêndios, o homem teve a ideia de utilizar troncos de árvores dispostos de maneira a flutuar e ter certa estabilidade, criando assim canoas rudimentares. Logo se deu conta da grande utilidade dessa descoberta, que permitia deslocarem-se grandes trechos de água no sentido das correntes, transportando alimentos e outros recursos importantes, definindo o início da história da navegação. O grande desafio consistia, porém, em navegar no sentido contrário ao fluxo das águas, o que era conseguido com o uso das próprias mãos, troncos ou varas para dar impulso, tendo sempre um enorme desgaste físico e baixo rendimento. Para dar a direção desejada pelo navegante, varas e tábuas de madeira eram apoiadas sobre o fundo dos rios e lagos, consistindo nos primeiros meios de governar uma embarcação.

Com o tempo essas embarcações foram aperfeiçoadas e empregadas no transporte através de rios e mares, navegando próximo à costa. Ligando povos através do mar, surge o comércio marítimo e a necessidade de proteção devido a ataques de inimigos, levando ao emprego no âmbito militar, dando origem aos primeiros navios de guerra, como os famosos trirremes romanos.

As mais antigas representações de barcos conhecidas são egípcias, e parece natural que numa região que se estendia ao longo de um rio do porte do Nilo, o barco fosse o principal meio de transporte. Seus habitantes não dispunham de madeira apropriada para construir embarcações, e estima-se que as primeiras, construídas há pelo menos 6 mil anos, foram feitas com hastes de junco, ou papiro, já que não se sabe quando os egípcios começaram a construir barcos de madeira, nem quando saíram do Nilo, navegando em pleno Mediterrâneo ou pelo Mar Vermelho. Estima-se que estas incursões começaram antes de 3 mil anos a.C. Os hieróglifos informam que, em 2600 a.C., o faraó Snofru, da quarta dinastia, enviou

quarenta barcos para Biblos, na Fenícia (atual Líbano), de onde regressaram com rico carregamento de cedro.

**Figura 1: Galera Trirreme Romana**



Fonte: [http://www.areamilitar.net/DIRECTORIO/IM\\_MAR/GaleraTriremeRom\\_600\\_01.jpg](http://www.areamilitar.net/DIRECTORIO/IM_MAR/GaleraTriremeRom_600_01.jpg)

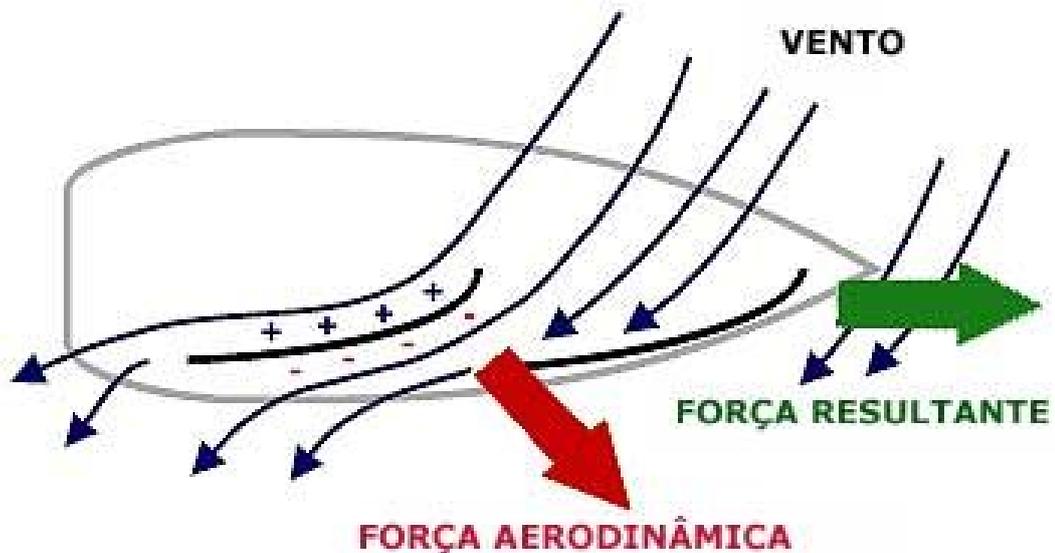
Na imagem acima, a galera trirreme romana, adaptada para a guerra, tratava-se de um navio naturalmente mais sofisticado, embora o seu sistema de locomoção fosse idêntico, e era armada com um sistema de abordagem chamado de “Corvus” ou “Corvo” que era na prática uma ponte levadiça com um espigão na ponta. Quando o navio se aproximava a uma distância mínima de um inimigo, o Corvus era baixado e o espigão servia de ancora. Os soldados romanos utilizavam então o Corvus para abordar o navio inimigo, já que eram soldados terrestres adaptados para a faina marinheira.

## 2.2 Vela

A vela em um barco se baseia no Princípio de Bernoulli, o mesmo princípio que explica a sustentação das asas de um avião, só que no veleiro a asa está virada de lado. Quando viaja na direção do vento, o veleiro é submetido à simples pressão do vento em sua vela; essa pressão impele a embarcação para frente, mas ao navegar contra o vento, a vela é exposta a um conjunto mais complexo de forças, de tal modo que quando o ar em movimento passa por trás do lado côncavo da vela,

ou barlavento, sua velocidade diminui; e quando passa pela parte dianteira, ou sota vento, o ar flui mais rapidamente. Isso origina uma zona de alta pressão atrás da vela e uma zona de baixa pressão a sua frente, onde a diferença de pressão entre os dois lados cria uma força para frente, em ângulo com o vento. O veleiro ainda se submete a uma força lateral devido à resistência da água e a composição das duas forças cria a força resultante na direção do movimento.

**Figura 2: Escoamento do vento através da superfície assimétrica da vela**



Fonte: [http://www.veleiro.net/livrodebordo/cursodevela\\_parte2.htm](http://www.veleiro.net/livrodebordo/cursodevela_parte2.htm)

Um barco não avança em linha reta para o meio do vento; ele realiza a manobra conhecida como "cambiar", ziguezagueando em uma série de movimentos curtos e angulares. Se o vento soprar do lado esquerdo do veleiro, diz-se que ele camba para bombordo; do lado direito, cambo para boreste. Para aumentar ao máximo a velocidade, o navegador procura ajustar as posições da vela, para minimizar o afastamento da linha reta no deslocamento, o barco navega cambando de bombordo para boreste.

Na antiguidade os homens não sabiam como velejar contra o vento, eles tinham que usar remos para vencer o vento contrário. Há cerca de três mil anos um árabe, hoje desconhecido, construiu um navio que podia velejar contra o vento e desde então navios cada vez maiores foram sendo construídos permitindo viagens cada vez mais distantes.

**Figura 3: Embarcação romana a vela**



Fonte: <http://www.logisticadescomplicada.com/mar-barco-vela/>

### **2.3 Máquinas a Vapor**

As máquinas foram inventadas com o propósito de poupar o tempo do trabalho humano, e uma delas era a máquina a vapor. Graças a essas máquinas, a produção de mercadorias ficou maior e os lucros também cresceram, então vários empresários começaram a investir nas indústrias. O motor a vapor é uma das primeiras máquinas térmicas inventadas pelo homem, e que por volta do século XVIII foi dar início a revolução industrial, porém suas primeiras aplicações datam de antes de Cristo, como a chamada Aeolipile, e são usadas até hoje, apesar dos motores a combustão terem tornado-a obsoleta, e a turbina a vapor também se baseia na ideia do calor como energia e explora a pressão do vapor, valendo-se das leis da termodinâmica para produzir trabalho de diversas maneiras, sendo a denominação dada a qualquer motor que funcione pela transformação de energia térmica em energia mecânica através da expansão do vapor de água. A pressão adquirida pelo vapor é utilizada para deslocar êmbolos que permite o movimento das rodas de potentes locomotivas, podendo ainda ser empregada, pela transformação em energia cinética, ou energia de movimento, em imensas turbinas que impulsionam geradores elétricos e gigantescos transatlânticos. Bombas, bate-

estacas e muitas outras máquinas são acionados por máquinas a vapor, que hoje podem ter como combustível a fissão nuclear de urânio. O desenvolvimento da máquina a vapor no século XVIII contribuiu para a expansão da indústria moderna, já que até então os trabalhos eram executados na dependência exclusiva da potência dos músculos dos operários, da energia animal, do vento ou da água. Uma única máquina a vapor realizava o trabalho de centenas de cavalos, fornecia a energia necessária para acionar todas as máquinas de uma fábrica, ou uma locomotiva a vapor podia deslocar cargas pesadas à grande distância em um único dia e os navios a vapor ofereciam transporte rápido, econômico e seguro. Ao longo dos séculos, notou-se uma grande evolução com relação a essas máquinas inventadas por Thomas Newcomen, apesar de os maiores e cruciais avanços terem sido feitos por James Watt. A partir das modificações de Watt, os motores a vapor passaram a movimentar as primeiras locomotivas, barcos, fábricas, além de fundições e minas de carvão e, dessa forma, constituíram a base da Revolução Industrial.

**Figura 4: Locomotiva a vapor, um marco da revolução industrial**



Fonte: [www.vanialima.blog.br](http://www.vanialima.blog.br)

### 2.3.1 Aeolipile

Datada desde a época da Alexandria, e idealizada por Heron, consistia em uma simples esfera de cobre com dois canos, um em cada extremidade, curvados em 90 graus e com água em seu interior. Geralmente apoiada em uma mesa com um suporte para o fogo, a água fervia e a força do vapor fazia a máquina girar, e apesar de pouca utilidade prática na época, foi de grande importância, pois foi o primeiro passo para uma das mais espetaculares invenções por um bom tempo.

**Figura 5: Aeolipile, a primeira idéia de máquina a vapor**



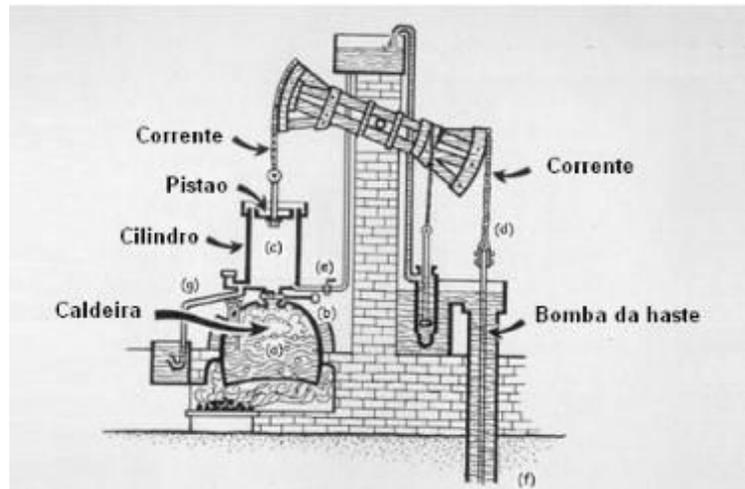
© 2000 Encyclopædia Britannica, Inc.

Fonte: eolipila.blogspot.com

### 2.3.2 Máquina de Thomas

Mais de mil anos após a máquina de Heron, surge a primeira máquina com interesse industrial por um engenheiro militar inglês, Thomas Savery, com o intuito de retirar a água dos poços de minas de carvão, porém devido as altas pressões de vapor não era raro que eventualmente explodisse. Alguns anos após outro Thomas, outro inglês, Thomas Newcomen, aperfeiçoou a máquina, de modo que além de reduzir o risco de explosões, poderia elevar carga também, não apenas a água, de modo que sua invenção foi um grande sucesso.

**Figura 6: Esquema da máquina de Thomas**

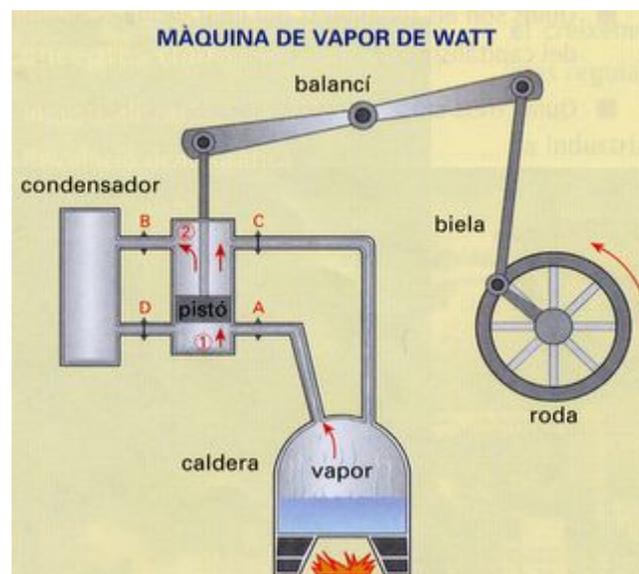


Fonte: [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br)

### 2.3.3 Máquina de Watt

Um estudioso fabricante de instrumentos interessado na máquina de Newcomen e em aumentar sua eficiência e custos com carvão inventou uma máquina que poderia ser usada em moinhos e tornos, devido à substituição do movimento alternativo pelo rotativo, tal inovação utilizava também um condensador para minimizar as perdas de calor, conseguindo assim, superar seu inspirador e suas máquinas passaram a ser usadas em vez das de Newcomen, bem como consumiam três vezes menos carvão.

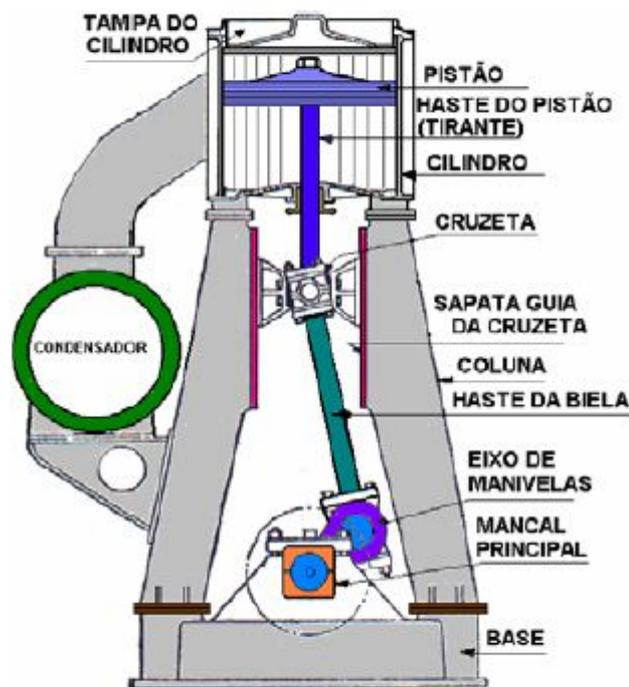
**Figura 7: Esquema da máquina de Watt**



Fonte: <http://pt.slideshare.net/leandromuniz/trabalho-final-a-evolucao-da-maquina-a-vapor-6653301>

As máquinas a vapor usam o calor da queima de combustíveis em uma fornalha, para aquecer a água e produzir vapor sob pressão em uma caldeira que, ao se expandir, pressiona um pistão e produz um trabalho mecânico. As primeiras máquinas trabalhavam com o vácuo produzido pela condensação do vapor ou pela expansão dele. Elas foram de vários tipos, mas predominaram as de pistão com movimento alternado e as de turbina de movimento rotatório. As máquinas a vapor continuaram a competir com outros sistemas até as duas primeiras décadas do século XX, quando foram substituídas pelas máquinas de combustão interna. A conversão de energia em trabalho, em máquinas expelindo calor para a atmosfera, tinha uma eficiência de 5%, mas com a adição de um condensador subia para 25% ou mais e com uma estação reinjetora de vapor chegou a 30%. As primeiras máquinas a vapor foram do tipo alternativo, como a mostrada na figura abaixo, e o famoso navio transatlântico Titanic, por exemplo, era propulsionado por esse tipo de máquina.

**Figura 8: Partes de uma máquina alternativa a vapor**



**Máquina alternativa a vapor**

Em 1780, nos Estados Unidos, Fitch também fabricou navios com máquinas a vapor e movimentados por roda de pás, e, em 1790, cidadãos de Filadélfia viajaram em um de seus barcos, por 20 milhas, pelo rio Delaware. Esse tipo de barco é visto geralmente em águas fluviais e nos litorais, movido 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, embora as rodas de pás em navios também possam 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.

**Figura 9: Navio americano de rodas de pás**



Fonte: google imagens

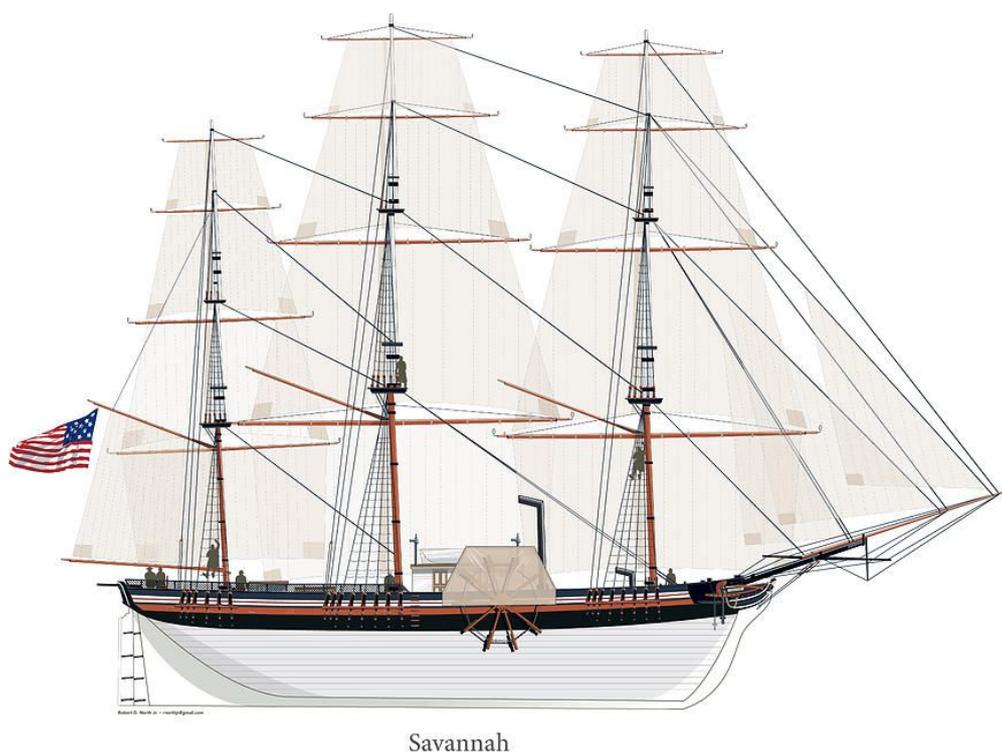
#### 2.3.4 Rodas de Pás

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, com uma parte das pás ficando submersa. A rotação das pás faz com as mesmas se alternem naquelas que fiquem submersa, produzindo uma força de impulso, semelhante à força de várias remadas sucessivas, que pode movimentar a embarcação para frente e também para trás, se necessário. 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), e as rodas laterais são usadas tanto em barcos fluviais como em embarcações costeiras, pois possuem

maior capacidade de manobra, pois a força pode ser direcionada para uma roda de cada vez.

A primeira viagem marítima com um vapor com rodas de pás foi feita em 1808 com o *Albany*, que partiu do Rio Hudson e seguiu ao longo da costa até o Rio Delaware, com a intenção de uma viagem de recreio, mas as viagens curtas costeiras dos vapores com pás começaram logo depois. O primeiro navio a vapor que realizou uma viagem oceânica de grande duração foi o SS *Savannah*, construído em 1819 com esse objetivo, indo ao mar em Liverpool em 22 de maio de 1819 e foi avistado na Irlanda após 23 dias de navegação, sendo essa a primeira travessia do Atlântico com propulsão mecânica, embora o *Savannah* também acionasse velas quando os ventos estivessem favoráveis.

**Figura 10: Savannah, o primeiro navio a vapor a realizar uma navegação oceânica.**



Fonte: <http://fineartamerica.com/featured/ss-savannah-profile-robert-north-jr.html>

## 2.4 O Surgimento do Hélice

As rodas com pás começaram a entrar em desuso após o lançamento do Archimedes, em maio de 1839, substituído por um novo equipamento: o propulsor

em hélice. Esse navio, em abril do mesmo ano, estabeleceria um novo recorde de velocidade, vencendo vários outros de qualidade superior e de maior força, mas de rodas, na travessia entre Dover e Calais, e por isso, em quatro anos de uso, o hélice acabou por superar a roda de pás. Os hélices modernos utilizavam o princípio do parafuso de Arquimedes, que conforme a direção do seu movimento rotatório puxa ou expulsa a água, daí a sua utilização para a propulsão e retropropulsão de barcos, a partir do século XIX.

O desenvolvimento do moderno propulsor deve-se a Smith e Eriksson, que obtiveram uma patente para propulsores em parafuso, com a de Eriksson mostrando uma roda de lâminas com movimento giratório, podendo ser única ou dupla.

**Figura 11: Modelo atual de hélice propulsor**



Fonte: [http://www.ipt.br/solucoes/7-otimizacao\\_de\\_propulsores.htm](http://www.ipt.br/solucoes/7-otimizacao_de_propulsores.htm)

### **3 OS ATUAIS SISTEMAS DE PROPULSÃO**

Após o breve histórico sobre os sistemas de propulsão que se desenvolveram ao longo tempo até o estouro tecnológico que surgiu da Revolução Industrial, será abordado o estudo do surgimento e funcionamento das grandes e complexas máquinas que rodeiam o dia-a-dia do século XXI, tanto na indústria quanto nos modernos sistemas de propulsão dos navios mercantes. Tal explanação é de importância indispensável para o entendimento das novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas para o melhoramento da propulsão marítima.

#### **3.1 Máquinas de Combustão Externa**

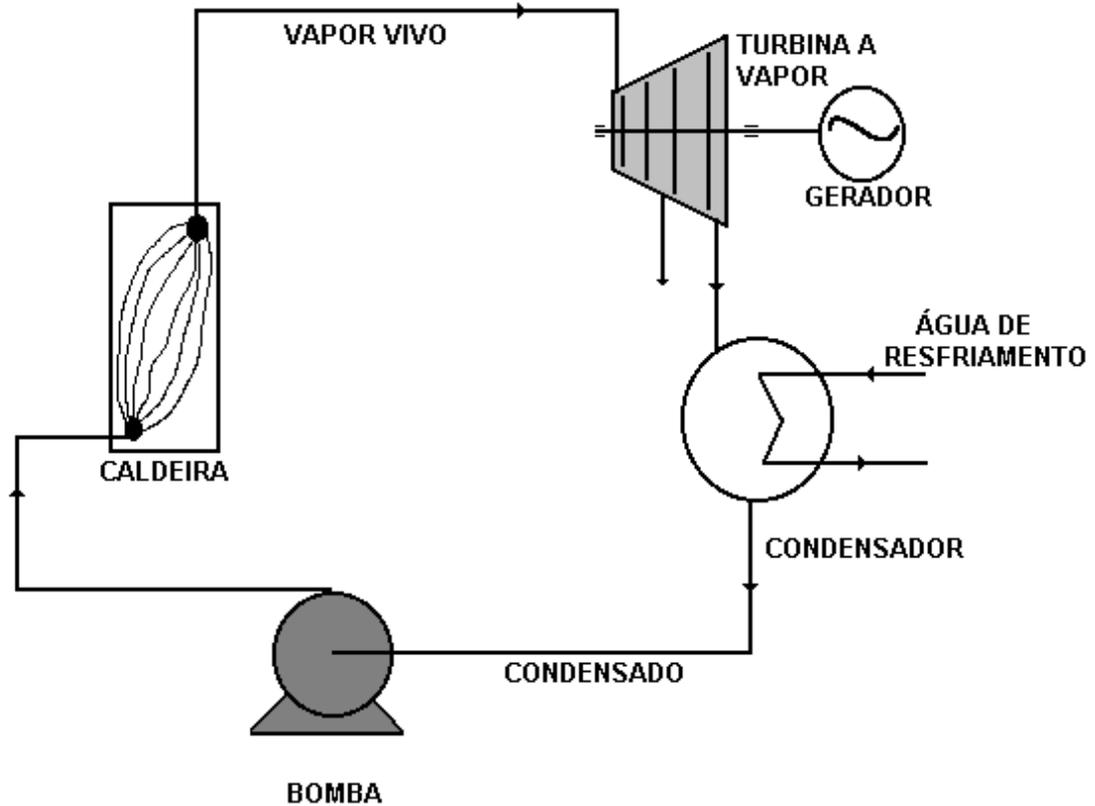
São as máquinas que aproveitam o vapor de água produzido numa caldeira ou outro tipo de gerador de vapor, para acionar um dispositivo móvel, que tanto pode ser o êmbolo de uma máquina alternativa ou o rotor de uma turbina, e transformam parte da energia térmica do vapor em energia mecânica. A transformação da energia química do combustível em calorífica efetua-se através de uma combustão que ocorre num órgão externo à máquina, podendo ser uma caldeira ou outro equipamento que aproveita o calor fornecido pela combustão para vaporizar a água, daí a designação de máquinas de combustão externa. Será apresentado o funcionamento do sistema de propulsão a turbina a vapor, visto que as máquinas alternativas já caíram em desuso.

Utilizavam-se desse tipo de propulsão até aos anos 80 em navios de grande porte como petroleiros (VLCC, ULCC), navios graneleiros (transporte de carvão, minério, etc.), porta-contentores e navios de passageiros que necessitavam de uma elevada potência propulsora, atualmente a sua utilização está restringida quase em exclusivo aos navios-tanque LNG (metaneiros), embora esteja em declínio.

Na caldeira, a água é aquecida até a sua temperatura de ebulição, se transformando em vapor. A energia calorificada combustível é transformada em pressão. O vapor sob pressão é direcionado para a turbina. Ao chegar à turbina, a energia calorífica do vapor é transformada em energia cinética, através dos expansores e, finalmente, em energia mecânica, através do empalhetamento fixo do estator e pelo empalhetamento móvel no rotor. Por ser uma máquina de combustão

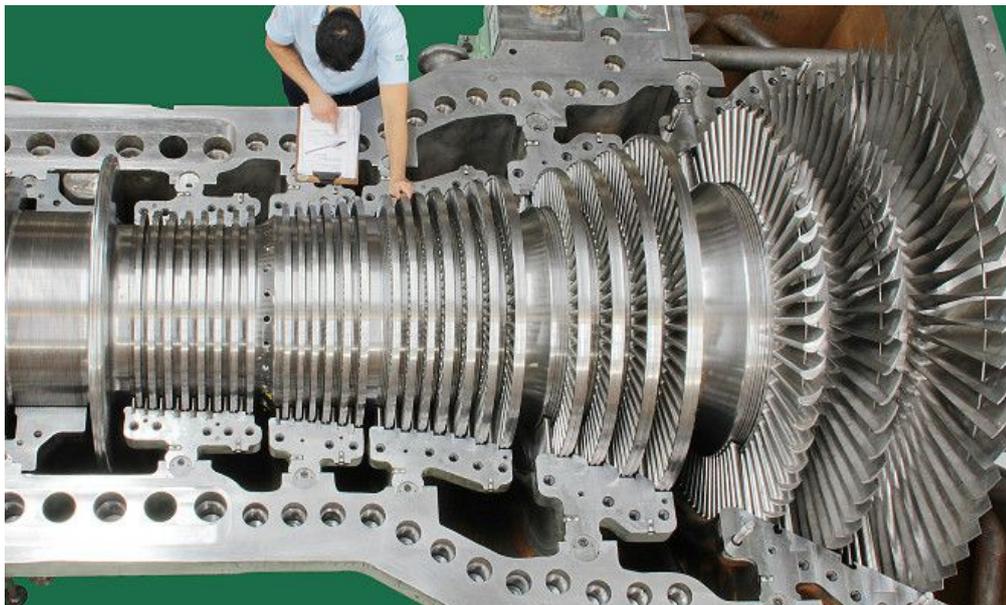
externa, há uma maior flexibilidade no tipo de combustível a ser utilizado na fornalha, podendo o mesmo ser: óleo pesado, diesel, borra ou borra orgânica.

**Figura 12: Esquema básico de um ciclo de operação de turbina a vapor**



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA0RMAG/turbina-a-vapor>

**Figura 13: Rotor e estator de uma turbina a vapor**



Fonte: <https://www.jornalcana.com.br/maior-turbina-a-vapor-com-tecnologia-brasileira-e-elogiada/>

## 3.2 Máquinas de Combustão Interna

No século XIX apareceram os primeiros motores a combustão interna. Nestes, o combustível é queimado dentro do próprio motor e seu aparecimento provocou um rápido desenvolvimento mecânico. Estes motores levaram vantagem sobre as máquinas a vapor pela sua versatilidade, eficiência, menor peso por cavalo vapor, funcionamento inicial rápido e possibilidade de adaptação a diversos tipos de máquinas. Em 1861, Otto e Langen, construíram um motor que comprimia a mistura de ar e gás de iluminação, com ignição feita por uma centelha elétrica. Em 1862, o engenheiro francês Beau de Rochas publicou estudos teóricos e estabeleceu alguns princípios termodinâmicos baseado no motor de Otto. Este então, baseado no estudo de Rochas, desenvolveu um motor: o motor de ciclo Otto apresentado em 1872. Estes motores usavam como combustível o gás de carvão ou o gasogênio, com ignição feita por centelha elétrica. Em 1889, fez-se a primeira aplicação do motor de ciclo Otto em veículos, utilizando-se como combustível a gasolina. Em 1893, o engenheiro alemão Rudolf Diesel descreveu um novo motor, no qual a ignição da mistura ar mais combustível era feita por compressão. Este motor acabou ficando conhecido como motor Diesel. Os motores modernos são derivados dos construídos por Otto e Diesel e as características básicas dos mesmos são as seguintes:

Motores de ciclo Otto: utilizam combustível de baixa volatilidade, como a gasolina e o álcool. Para ignição necessitam de centelha produzida pelo sistema elétrico.

Motores de ciclo Diesel: utilizam como combustível o óleo diesel. A inflamação do combustível injetado sob pressão na câmara de combustão ocorre pela compressão de ar e consequente elevação da temperatura.

### 3.2.1 Conceitos Básicos

A combustão é uma reação química com desprendimento de luz e de calor. Para que se processe essa reação, dois agentes químicos têm que estar presentes: o combustível e o comburente. Além disso, é indispensável que a temperatura do combustível corresponda pelo menos à do seu ponto de ignição.

- **Combustível** - é tudo aquilo que é capaz de entrar em combustão: óleo Diesel, gasolina, madeira, carvão.
- **Comburente** - é todo elemento que, associando-se quimicamente ao combustível, é capaz de fazê-lo entrar em combustão. O oxigênio, presente no ar atmosférico, é o comburente mais facilmente encontrado na natureza. O ar atmosférico é constituído de aproximadamente 76% de Nitrogênio, 23% de oxigênio e 1% de outros gases. O Nitrogênio é, na realidade, um gás inerte, ou seja, um gás que não queima.
- **Máquina de combustão interna** é aquela em que a queima do combustível se processa no interior da própria máquina. Como exemplo, podemos citar a turbina a gás, o motor a explosão que utiliza gasolina e álcool e o motor Diesel.

### 3.2.2 Motor de Combustão

Os termos “combustão” e “explosão” são usados no nome desse motor porque o seu princípio de funcionamento baseia-se no aproveitamento da energia liberada na reação de combustão de uma mistura de ar e combustível que ocorre dentro do cilindro da máquina.

Os motores de combustão interna podem ser classificados em:

**Alternativos:** O trabalho é obtido pelo movimento alternativo de um êmbolo ou pistão, transformado em rotação contínua por um sistema biela-manivela.

**Rotativos:** Quando o trabalho é obtido diretamente por um movimento de rotação. Ex: Turbina a gás, motor Wankel.

**Motores de Impulso:** Quando o trabalho é obtido pela força de propulsão gerada por gases expelidos em alta velocidade.

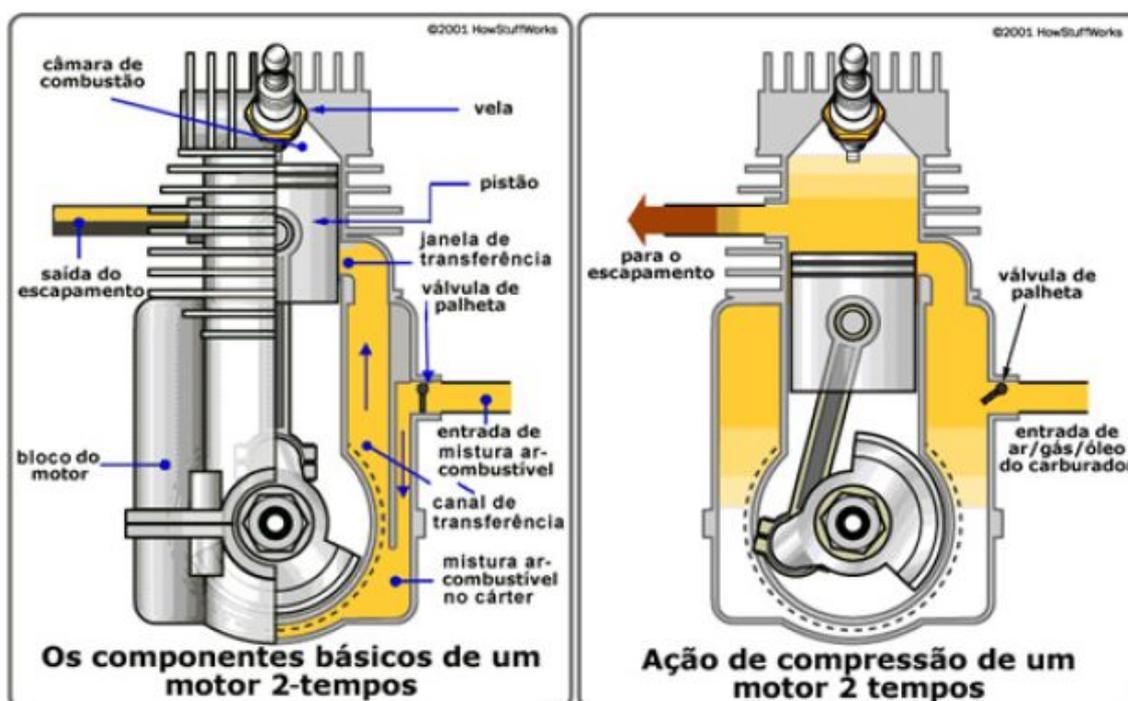
Conforme Garcia e Brunetti, dentre os motores alternativos existem duas classificações com relação ao número de tempos, os mesmos podem ser de 2 tempos ou 4 tempos. E quanto ao ciclo operativo, em motores do ciclo Diesel e ciclo Otto.

### 3.2.3 Motores Ciclo Otto 2 tempos

Nos motores 2 tempos do ciclo Otto, o primeiro tempo pode ser definido supondo o pistão no Ponto Morto Superior (PMS) e a mistura comprimida, ao saltar

a faísca inicia-se a combustão e o pistão é deslocado para baixo. Durante o deslocamento até o Ponto Morto Inferior (PMI), o conteúdo do cárter (combustível e óleo lubrificante) é comprimido. Num certo ponto do deslocamento libera-se a passagem de escape expelindo os gases de combustão. Em outro ponto do deslocamento libera-se a passagem de admissão, que coloca o cárter em comunicação com o cilindro preenchendo-o com mistura nova. No segundo tempo o pistão desloca-se do PMI ao PMS, e são fechadas as portas de admissão e de exaustão e o cárter é preenchido com mistura nova.

**Figura 14: Funcionamento de motor 2 tempos do ciclo Otto**



Fonte: <http://bicicletamotorizada.net/threads/1133-Tutorial-de-motores-2-tempos>

### 3.2.4 Motores ciclo Otto 4 tempos

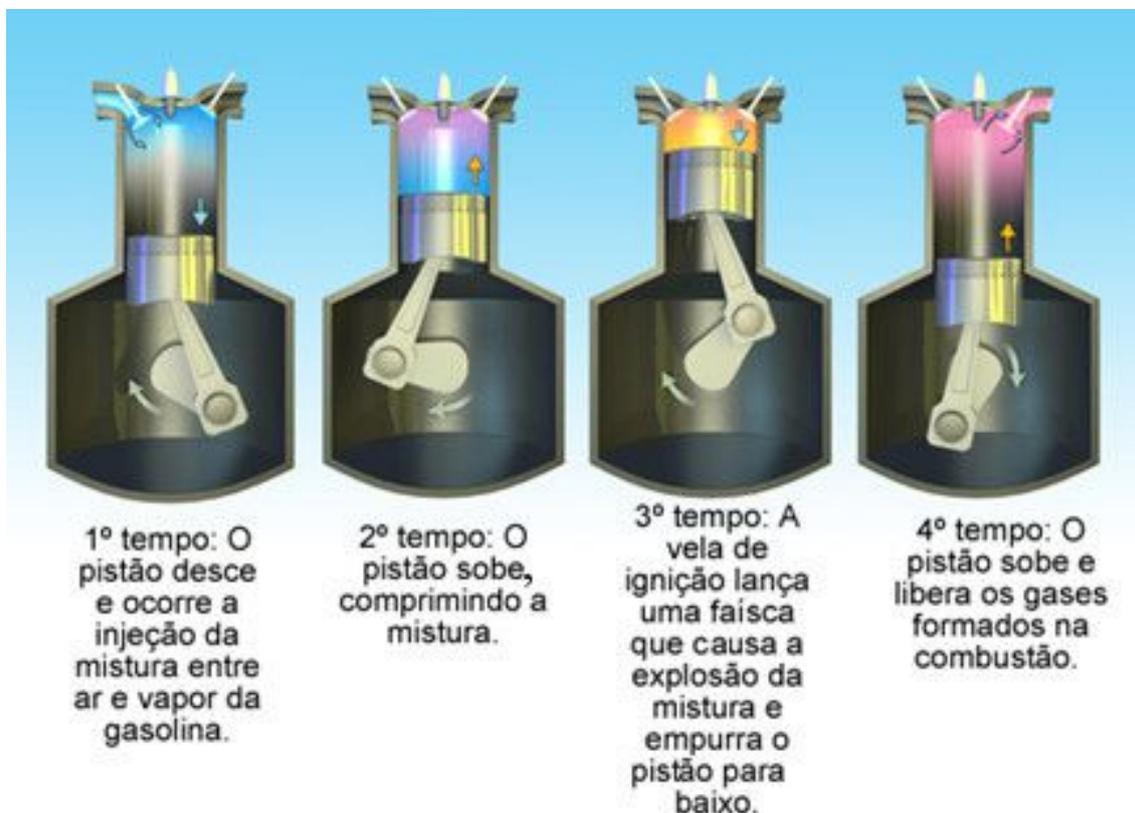
O funcionamento dos motores 4 tempos do ciclo Otto é definido a seguir:

- Tempo de admissão – O pistão desloca-se do PMS ao PMI, neste movimento o pistão da origem a uma admissão através da válvula de admissão que se encontra aberta, o cilindro é então preenchido pela mistura ar+combustível.
- Tempo de compressão – É fechada a válvula de admissão e o pistão desloca-se do PMI ao PMS, comprimindo a mistura. A compressão deve ser elevada para que atinjam temperaturas elevadas e consequentemente a flamabilidade da

mistura. É muito importante que o combustível aguarde bem essa compressão, não explodindo antes do 3º tempo. Se o combustível explodir prematuramente durante a compressão, diminuirá a potência do motor e produzirá um ruído conhecido como batida de pino (*knocking*). Gasolinas com maior índice de octanagem são melhores por causa disso: quanto maior o índice de octanagem, mais resistente a gasolina será à compressão sofrida e melhor será o desempenho do motor. É por isso também que se adicionam antidetonantes à gasolina, como o etanol.

- Tempo de Expansão – Pouco antes de atingir o PMS, salta a faísca que provoca a ignição da mistura, a combustão provoca um grande aumento da pressão, acarretando o movimento do pistão para o PMI, de tal maneira que os gases produzidos sofrem expansão. Nesse tempo obtém o trabalho útil do motor.
- Tempo de escape – É aberta a válvula de escape e o pistão desloca-se do PMI ao PMS jogando os gases para fora do cilindro, para poder reiniciar pelo ciclo de admissão.

**Figura 15: Ciclo de um motor 4 tempos Otto**



Os motores que normalmente equipam os navios mercantes é o motor Diesel, que utiliza como combustíveis o óleo Diesel (MDO) e o óleo pesado, “bunker” (HFO).

Na realidade não existe grandes diferenças entre os motores de inflamação por centelha e os motores de inflamação por compressão. Essencialmente, esses motores se distinguem por seu ciclo teórico.

### 3.2.5 Motores Diesel a 4 Tempos

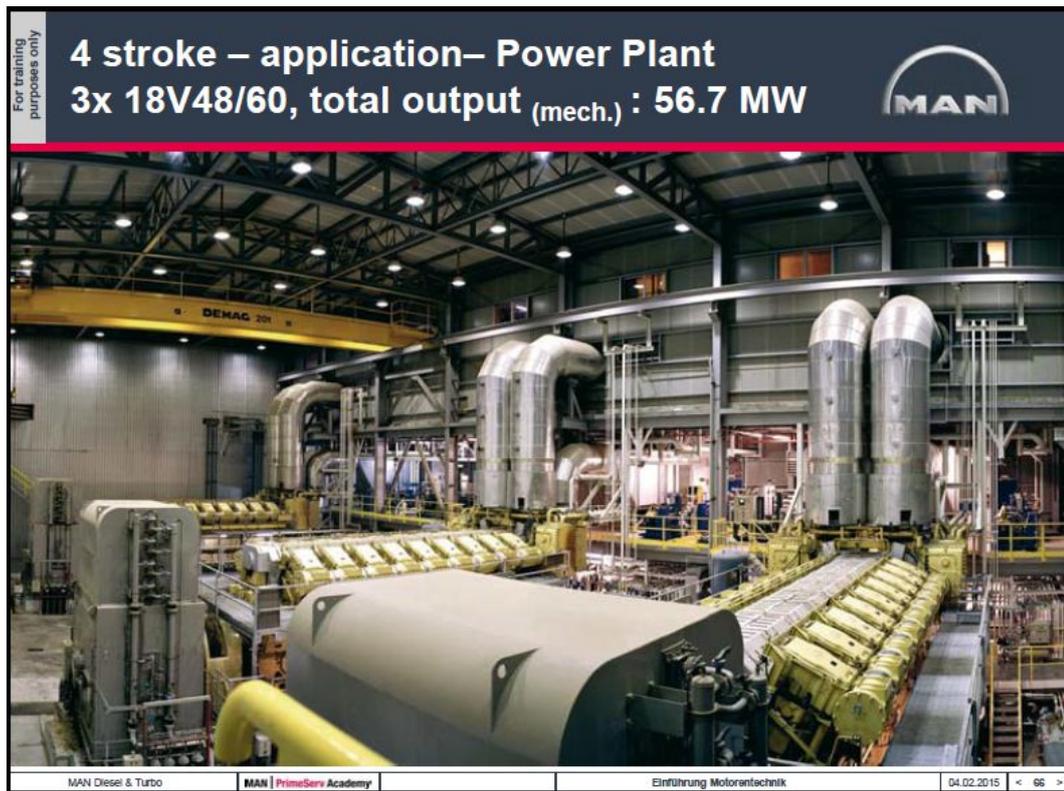
**1º Estágio:** nesse estágio, o pistão do motor move-se para baixo e puxa ar atmosférico através da válvula de entrada.

**2º Estágio:** depois que a câmara de combustão foi preenchida, a válvula de admissão é fechada e o pistão sobe, comprimindo o ar no cilindro.

**3º Estágio:** pouco antes de o pistão atingir o ponto máximo, o bico injetor pulveriza óleo combustível na câmara de combustão que de encontro à alta pressão do ar, provoca a explosão, deslocando o pistão para baixo. A energia cinética dos gases em expansão é transmitida para o pistão, que movimenta o eixo do virabrequim, fazendo o eixo se movimentar. Essa parte é muito importante, pois é nela que a energia química (proveniente da combustão) é transformada em energia mecânica (que vai mover o eixo).

**4º Estágio:** o pistão sobe novamente e a válvula de exaustão ou de saída é aberta, permitindo que os gases formados na combustão sejam liberados. Quando essa válvula se fecha, a válvula de entrada é aberta e o processo recomeça.

**Figura 16: Planta de geração de energia com motores diesel 4 tempos**



Fonte: MAN Diesel & Turbo

A imagem acima ilustra a aplicação de motores 4 tempos na geração de energia elétrica.

### 3.2.6 O Motor Diesel de Dois Tempos

O diesel de dois tempos usa-se em propulsão marinha, por sua singeleza mecânica e baixo consumo. São de grande cilindrada e desenvolvem potências superiores a 35000 KW, giram lentamente entre 80 200 RPM. A pressão necessária para introduzir o ar no cilindro é fornecida por um turbo compressor, em local de realizar-se através do cárter. Nos diesel não existe perda de combustível pelo escape como só se injeta ar.

Ciclo de trabalho

Primeiro tempo:

- Final da varredura
- Compressão e injeção

Partindo do PMI, o pistão começa a subir enquanto realiza-se a última fase da lavagem. Fecham-se as janelas de admissão e escape, e o ar contido em cilindro comprime-se. Momentos antes que o pistão chegue PMS, produz-se a injeção do combustível que se inflama ao contato com o ar quente comprimido na câmara de combustão.

Segundo tempo:

-Expansão

-Escape

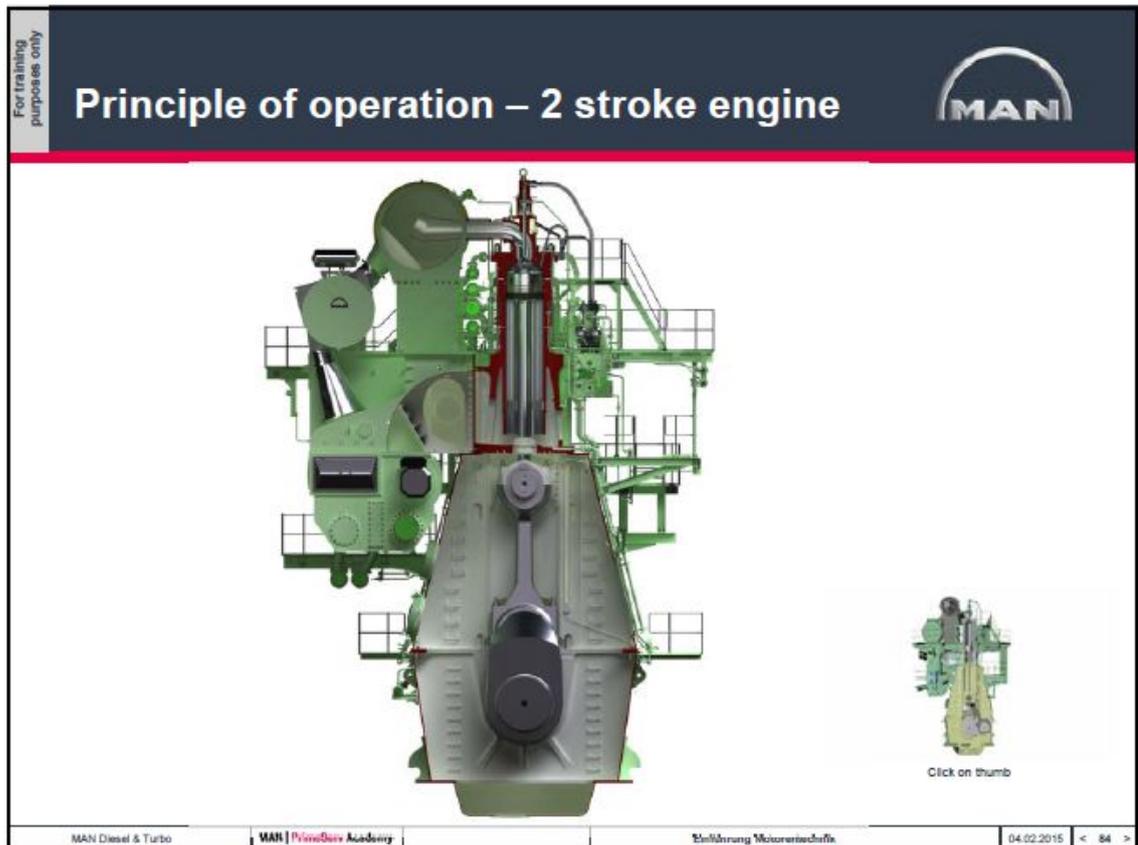
No PMS a pressão originada na combustão é aplicada sobre o pistão que começa a descer em expansão. Descobre-se a janela de escape descarregando a pressão e, a seguir a de admissão que permite a entrada de ar impulsionado pelo turbo carregador, com uma pressão de 11.4 bar. Este ar realiza a varredura no cilindro, obrigando a sair os gases queimados pela janela de escape e expulsando parte deste ar que fornece o turbo com o fim de assegurar uma boa varredura, que se prolonga até que, ao subir o pistão, fecha a janela.

### **3.2.6.1 Particularidades construtivas**

A maioria destes motores usa como bomba de varredura um turbo-compressor acionado pelos gases de escape, se fazendo necessários intercoolers. Na entrada das janelas de admissão dispõem-se laminais que permanecem fechadas sempre que a pressão interior seja superior à admissão, uma vez expulsado os gases de escape, começa a entrar o ar de varredura dirigido pela inclinação das janelas. Parte do ar frio é expulso pela janela de escape, este efeito tem como objetivo eliminar totalmente os gases queimados e refrigerar.

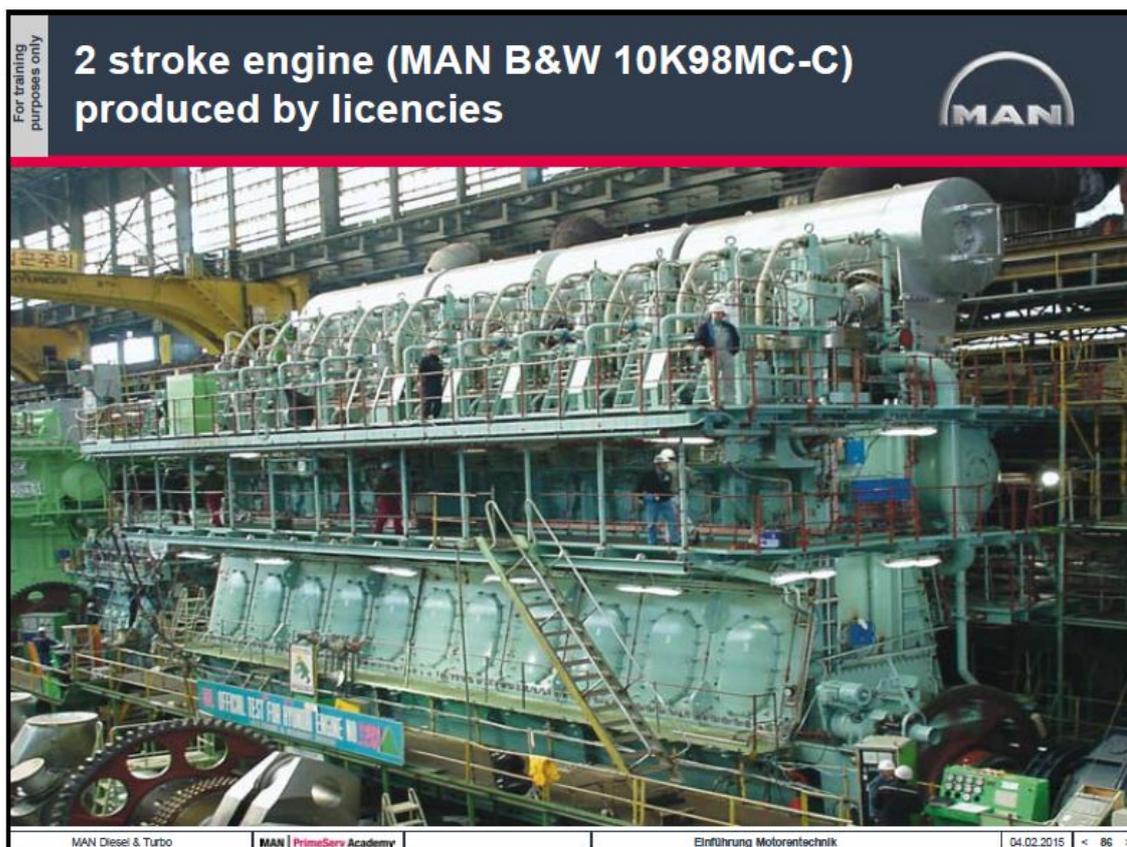
Os elementos móveis são volumosos e muito pesados, o qual requer um regime de giro muito lento, que se mantém constante, pelo que se dispõe de umas condições favoráveis para realizar a evacuação dos gases queimados. O consumo específico destes motores é muito baixo e a potência efetiva muito elevada.

Figura 17: Ilustração de um motor diesel 2 tempos marítimo



Fonte: MAN Diesel &amp; Turbo

Figura 18: Motor diesel 2 tempos marítimo



Fonte: MAN Diesel & Turbo

### 3.2.7 Turbina a Gás

A turbina a gás é tipicamente um motor de combustão interna, do tipo rotativo. Este tipo de máquina queima uma mistura de combustível e ar. Erroneamente, a falta de informações técnicas faz com que a maioria das pessoas pense que o combustível utilizado na combustão seja apenas um gás. Os gases provenientes da queima do combustível, ao “fugirem” para a atmosfera, produzem trabalho. Daí, a denominação de “turbina a gás”. O ar, após ser comprimido por um equipamento chamado de compressor, recebe o combustível injetado na câmara de combustão, o que resulta em uma queima que produz um gás com alta temperatura e alta pressão. Este gás, que é o produto da combustão de qualquer combustível, vai sofrer um processo de expansão através das palhetas rotativas da turbina, que, por sua vez, acionam o eixo da turbina, produzindo potência. Esta potência será usada por um propulsor de navio, ou mesmo, por um gerador de energia elétrica.

**Figura 19: Ciclo de operação de uma turbina a gás**

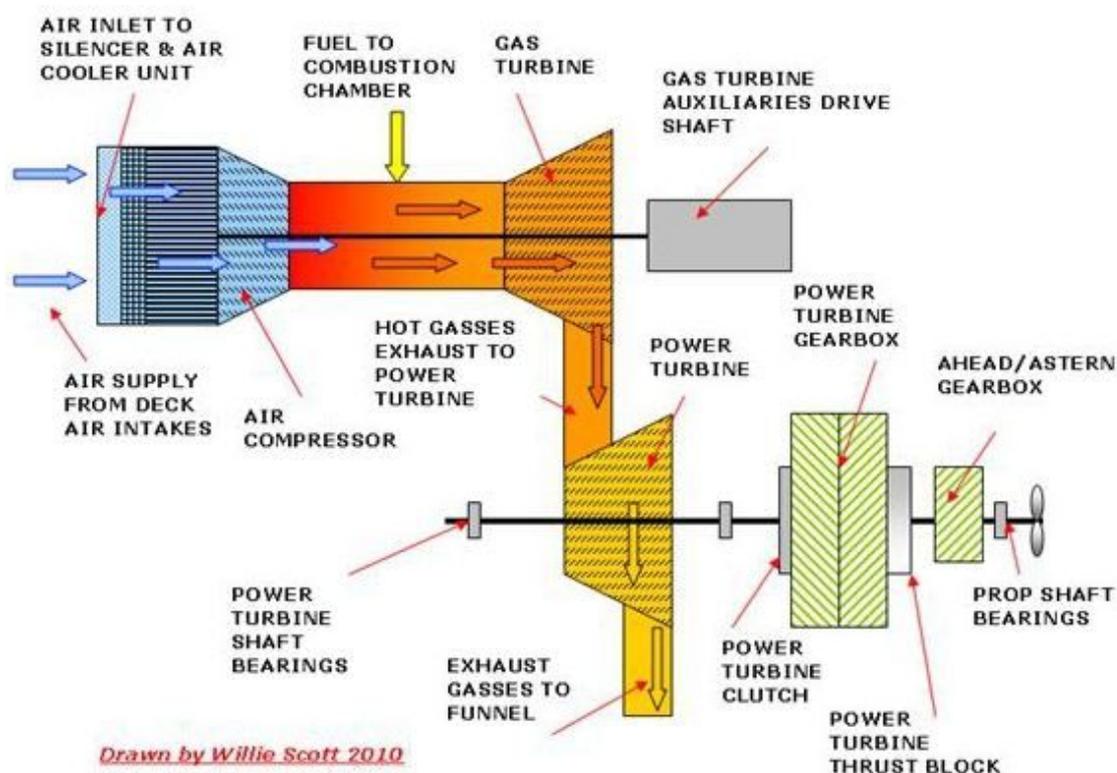


Fonte: <http://carros.hsw.uol.com.br/north-american-eagle2.htm>

### **3.2.7.1 Ciclo de Operação**

O ar admitido no compressor é submetido a uma alta compressão, sendo a seguir direcionado para a câmara de combustão ou combustor. O combustível é, então, injetado na câmara de combustão, através dos bicos injetores, formando uma mistura com o anteriormente comprimido. Assim, ocorre a queima do combustível. Inicialmente, esse processo ocorre com a ajuda de uma centelha elétrica. Posteriormente a combustão se auto-sustenta não havendo mais a necessidade da centelha elétrica. Essa combustão produz um gás de alta energia (com alta temperatura). As temperaturas atualmente já estão maiores que  $1800^{\circ}\text{C}$ . Os gases a alta temperatura se expandem através da turbina, que transforma a energia térmica, da qual estão possuídos, em energia cinética e, finalmente, em energia mecânica, promovendo um movimento rotativo da turbina; esta, então, vai acionar o compressor, que vai comprimir o ar que participa no início do processo. Todas as turbinas a gás funcionam com base neste mesmo princípio. Existem variações quanto à construção, mas, independentemente do modelo de qualquer fabricante, contará sempre com compressor, câmara de combustão e turbina. Todo esse processo ocorre dando energia mecânica que será utilizada em um eixo propulsor ou na geração de energia.

**Figura 20: Instalação propulsora a turbina a gás**



Fonte: <http://www.brighthubengineering.com/naval-architecture/61952-jet-engines-for-marine-propulsion/>

### 3.3 Propulsão Diesel Elétrica

O sistema híbrido diesel-elétrico foi desenvolvido recentemente e tem sido crescente a sua utilização em sistemas de propulsão de navios. Novos motores CC/CA são disponíveis com nova tecnologia, cobrindo uma larga gama de aplicação para propulsão elétrica. É adequada para vários tipos de navios: de pesquisa, de lançamento de cabos e quebra-gelo.

Segundo Woodyard (2004) a propulsão diesel-elétrica também está sendo usada nos navios de cruzeiros e na propulsão de navios tanques, navios combinados de passageiros, navios ro-ro, balsas de travessia e alguns porta contêineres. Mais recentemente é também aplicado em navios de suprimento offshore e nos de carregamento de gás natural.



automática dos motores diesel, o que assegura que a carga do motor seja mantida próxima ao ponto ótimo, dentro do limite operacional.

### 3.3.1 Azipod

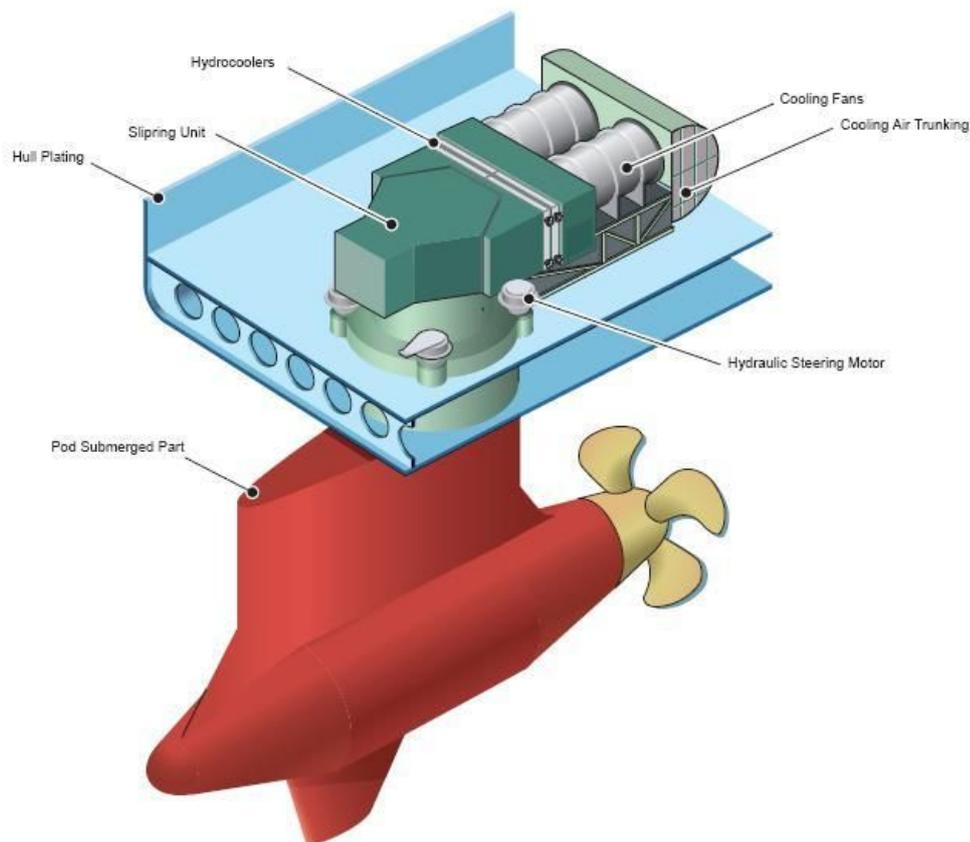
Azipod é marca registrada da ABB, termo que significa "pod" + Azimuth, pod é devido ao formato do thruster e AZI de azimuth por conta da capacidade de giro de 360°.

O azipod é um motor elétrico fixado fora do casco. O 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 manobrabilidade 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 conectar ao hélice pela parte externa do casco na popa do navio. O sistema de manobra (maquina do leme) de tal sistema é feito com o auxílio de um leme localizado atrás do hélice.

No entanto, 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. Deve se observar que o sistema de selagem deve ser perfeito caso contrário pode danificar o motor integralmente. O motor utilizado para este sistema é um motor elétrico de frequência variável. Usando frequência variável, a velocidade rotacional do impelidor pode ser controlada e a velocidade do navio pode ser aumentada ou diminuída.

**Figura 22: Propulsor Azipod**



Fonte: <http://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-azipod-propulsion-system-on-ship/>

### 3.3.2 Vantagens da propulsão AZIPOD®

Excelentes manobrabilidade e desempenho hidrodinâmico, mesmo em severos ambientes do mar. Elimina a necessidade de longas linhas de eixo, bem como lemes, hélices laterais, hélices de passo variável e engrenagens redutoras.

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, menos tempo de indisponibilidade, maior segurança.

A flexibilidade de operação do sistema de propulsão AZIPOD® conduz ao menor consumo de combustível, custos de manutenção menores, emissões de gases reduzidas.

A unidade AZIPOD® tem um projeto flexível. Ela pode ser construída para empurrar ou puxar, em águas livres ou em águas com gelos.

## 4 NOVAS TECNOLOGIAS E TENDÊNCIAS PARA O FUTURO

### 4.1 Motores Magnéticos

Segundo o trabalho de Leandro Cornélio Bustamante, publicado em 2015, nas últimas décadas vem sendo dada mais importância as fontes de energia renovável, pois se sabe que as fontes de combustíveis fósseis estão se esgotando. No meio marítimo isso se torna interessante ao se constatar que se podem minimizar custos e aumentar o lucro, diminuir a poluição atmosférica, e ganhar espaço no mercado por meio de menores valores de frete a serem oferecidos. Entretanto, a energia renovável pode não ser um bom negócio para determinados investidores e empresas, gerando assim uma resistência ao desenvolvimento de novas tecnologias que ameaçam o seu mercado.

Todo navio mercante é equipado com muitos motores elétricos. Motores esses responsáveis por gerar movimento às bombas, e no caso dos motores de grande porte, dar propulsão ao navio. O fato de que motores elétricos geram movimento rotativo por meio do uso de campos magnéticos nos dá a possibilidade de utilização de ímãs permanentes no rotor, o chamado motor síncrono. Essa mudança ocasiona uma economia no consumo de energia elétrica e consequentemente no consumo de combustível dos geradores. Essa tecnologia já é bem conhecida e desenvolvida, o grande desafio é a construção desses motores em grandes dimensões para serem usados como meio de propulsão.

Um motor magnético é uma máquina externamente semelhante ao motor elétrico, gerando movimento rotativo através do magnetismo. Ao tentar aproximar dois pólos de nomes iguais de ímãs qualquer se percebe uma força de repulsão, variando de acordo com as regiões dos campos magnéticos. Tal característica, se bem analisada, pode ser utilizada para gerar movimento perpetuo rotativo ou linear.

#### Ímãs de Neodímio

Uma combinação de três elementos: boro (B), ferro (Fe) e neodímio (Nd). Esses ímãs são extremamente fortes, pois são capazes de suportar cargas bem maiores que seu próprio peso, porém, são frágeis e perdem seu magnetismo em temperaturas acima de 120 °C. A intensidade dos ímãs pode ser medida pelo

produto energético máximo, em megagauss-oersteds (MGOe), sendo 1 MGOe = 7,957 KJ/m<sup>3</sup>.

O aumento de temperatura provoca uma redução das propriedades magnéticas do material, podendo ter características reversíveis ou irreversíveis. A temperatura em que o material perde as suas propriedades magnéticas é chamada de Temperatura de Curie do material. A temperatura age diminuindo a coercividade e facilitando os processos de desmagnetização como crescimento e nucleação de domínios reversos, quando há um campo magnético reverso presente. A temperatura também intensifica os processos de corrosão e oxidação através do aumento da cinética das reações, intensificando as perdas irreversíveis.

#### **4.1.1A explicação física**

Algumas hipóteses foram levantadas para explicar como pode ser possível construir um dispositivo capaz de funcionar continuamente sem qualquer fonte de energia convencional. Energia magnética armazenada, fluxo de fótons, energia de flutuação do vácuo, singularidade eletromagnética, entre outras suposições. Possíveis teorias que fogem do campo da física convencional, e atingem um patamar talvez ainda não descoberto. Ou pode até ser que a teoria já tenha sido desenvolvida, só não foi relacionada ao assunto.

A teoria sobre a energia contida no vácuo, ou teoria dos campos quânticos, diz que todos os campos – especialmente os campos eletromagnéticos – tem flutuações. Em outras palavras: em qualquer momento o campo varia para valores aleatórios perto de um valor constante conhecido. Até mesmo o vácuo perfeito no zero absoluto tem campos flutuantes conhecidos como flutuações do vácuo. Todas as propriedades energéticas que uma partícula deve ter se apresenta em cada ponto do espaço como um oceano caótico de atividades. Ao passo que essas variações se cancelam tornando o vácuo nulo, aparentando ser uma ideia falha. Entretanto experimentos mostraram que a flutuação energética aleatória do vácuo atinge padrões coerentes quando medidas. A força de Casimir é um exemplo, onde as flutuações do vácuo interagem com superfícies metálicas paralelas quando separadas por espaços da ordem de microns, e realizam trabalho. Talvez o motor tenha a propriedade de mudar a aleatoriedade das flutuações quânticas em energia

útil. A magnitude da energia do vácuo vai além da imaginação, mas alguns físicos tentaram dar uma breve ideia ao afirmar que a energia contida em um metro cúbico seria suficiente para ferver todos os oceanos da terra.

Uma teoria se origina da energia gravitacional, um bom candidato a explicar como o motor funciona poderia vir da notória fórmula  $E=mc^2$ . Poderíamos especular que a energia é constantemente suprida por fluxos de fótons dos campos gravitacionais. Para confirmar essa possibilidade, um experimento extremamente preciso deveria ser conduzido, medindo o peso do motor durante a operação. Se o motor ficasse 1g mais leve, então cerca de 25000 MWh estaria sendo convertido.

Está bem claro que não estamos supridos de conhecimento suficiente para explicar alguns fenômenos, entre eles a ideia aqui abordada. Contudo podemos resgatar da história da ciência que ao longo do tempo muitas descobertas foram feitas sem ter ainda suporte teórico para explicá-las, suposições foram feitas, muitos descreditaram e outros mantiveram suas ideias como crenças, pois ainda careciam de conhecimento. Deve-se refletir sobre o fato de que não é modesto acreditar que atualmente possuímos conhecimento para explicar todo e qualquer fenômeno físico. A ciência não atingiu o seu ponto mais alto.

#### **4.1.2 Motor Magnético**

Um motor magnético, de forma genérica, é uma máquina composta por ímãs dispostos de forma que gerem movimento. O movimento primário gerado depende do tipo do projeto. Pode ser semelhante a um motor elétrico gerando movimento rotativo.

Entre os modelos de motores magnéticos mais conhecidos, temos diferentes configurações, ou seja, diferentes formas de gerar o movimento com o uso de ímãs de neodímio, podendo ter formas de cilindro, barra ou ferradura. Alguns desses modelos sofreram aprimoramentos, variações, correções, mas seus princípios foram mantidos. Compartilham de uma ideia em comum: criar um vetor resultante ou um conjunto de vetores resultantes dos campos magnéticos gerados pelos ímãs a fim de guiar o movimento de outros ímãs de forma contínua, vencendo o atrito e as forças que tendem a parar o motor. Os seguintes modelos escolhidos a serem abordados são exemplos da diversidade de configurações possíveis buscando o movimento

continuo. As diferentes características de cada um despertam a ideia de que mesmo o motor sendo falha, a tecnologia ainda tem muito a ser estudada.

Foi selecionado, para apresentação neste trabalho, o modelo mais promissor encontrado. Este modelo ainda está sob intenso estudo, porém tudo indica que sua aplicação tem sucesso e estará disponível no mercado mediante sanadas questões burocráticas. O modelo em questão é o Motor de Muammer Yildiz, desenvolvido pelo turco que deu nome à máquina.

O motor foi criado pelo turco Muammer Yildiz, que conseguiu registrar a patente do seu motor magnético com sucesso, e dentro de pouco tempo ele prevê que esteja disponível para venda em diversos países. Foram planejados motores com diferentes tamanhos, com produção de 5KW, 10KW, 100KW, 500KW e 1000KW. No momento ele enfrenta dificuldades burocráticas para a produção, venda e utilização dos motores, que terão suas utilizações focadas na produção de energia elétrica, planejando ser vendido o conjunto completo com acoplamento do gerador e cabos de saída. Correções e aprimoramentos foram feitos e o possível modelo comercial já foi desenvolvido.

**Figura 23: Motor de Yildiz**



Fonte: [http://pesn.com/2013/01/04/9602242\\_BSMH-Yildiz\\_All-Magnet-Motor\\_30-Day\\_University\\_Test\\_Pending/](http://pesn.com/2013/01/04/9602242_BSMH-Yildiz_All-Magnet-Motor_30-Day_University_Test_Pending/)

Ele passou por diversas apresentações diante de autoridades, empresas e pesquisadores, afim de que o seu funcionamento seja explicado, testado e testemunhado, uma descrição detalhada do projeto foi disponibilizada em alemão, e uma versão menos detalhada em inglês.

O motor é composto por um estator interno, estator externo, rotor, dois tamanhos diferentes de ímãs trapezoidais e ímãs cilíndricos de um único tamanho. Para a estrutura do motor são utilizados o alumínio e o plástico, que não interagem com campos magnéticos. Nesse modelo o que se diferencia dos outros é a manipulação minuciosa da posição que cada grupo de ímãs deve ocupar, destacando-se a variedade de tamanhos, formas e tipo de alinhamento.

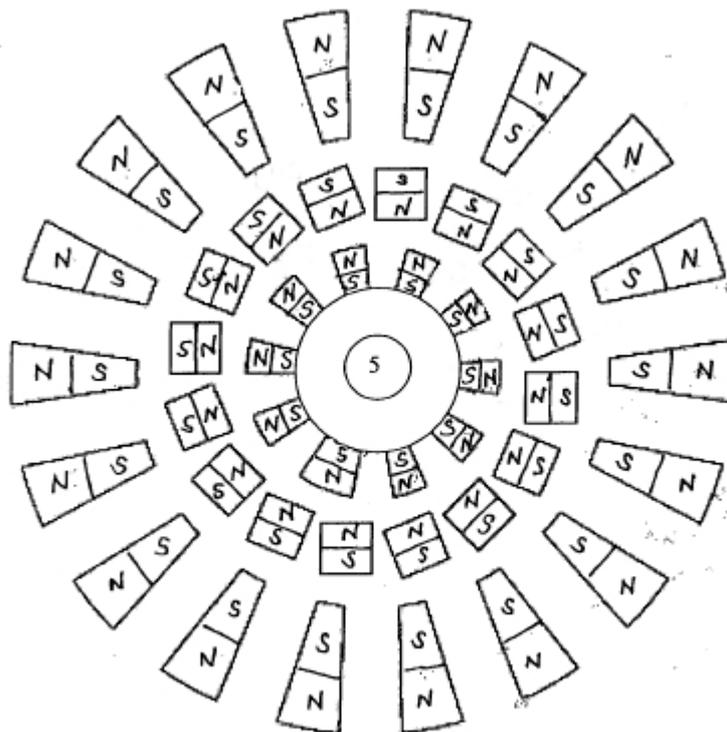
O rotor é dividido em dois tambores (Cilindros) ocios e estruturalmente ligados ao eixo por apenas uma das extremidades, sendo que em cada um dos tambores são dispostas quatro fileiras de ímãs cilíndricos (20mm de diâmetro por 20mm de altura) ao longo da circunferência com um pequeno deslocamento angular entre as fileiras. O espaço interno no rotor é ocupado pelo estator interno, que é fixo a um disco estrutural localizado no ponto médio do motor transversalmente ao seu eixo.

O estator interno é revestido externamente por ímãs trapezoidais com suas bases de maior área (polo norte) expostas as faces inferiores (polo norte) dos ímãs cilíndricos do rotor, induzindo a repulsão entre eles. Esses ímãs trapezoidais devem ter o comprimento aproximado de 100mm, 25mm de altura, 25mm de largura da base maior e 10mm de largura da base menor. Em cada um dos dois estatores internos são fixados dez desses ímãs, dispostos longitudinalmente com um deslocamento lateral e longitudinal entre cada um deles.

A grande diferença desse projeto para os anteriormente apresentados é o uso da repulsão agindo nos dois polos de cada ímã do rotor, característica alcançada com a utilização de dois estatores, interno e externo. A distancia lateral entre os ímãs do rotor, a forma trapezoidal dos ímãs dos estatores, as distâncias interna e externa entre rotor e estatores, a angulação dos ímãs do estator interno, o desalinhamento dos ímãs do rotor com o centro do eixo, entre outras características, são configurações essenciais para o alcance do objetivo. Na maioria dos projetos de motores magnéticos não se vêem características tão específicas como Muammer

Yildiz foi capaz de desenvolver em seu motor. Na figura a seguir pode-se notar o desalinhamento dos ímãs cilíndricos do rotor com o centro do eixo do motor, a disposição das polaridades dos ímãs do estator externo e estator interno evidenciando a repulsão externa pelo polo Sul e interna pelo polo Norte.

**Figura 24: Disposição e polaridades dos ímãs no motor Yildiz**



Fonte: [http://www.theorderoftime.com/science/free\\_energy/4.html](http://www.theorderoftime.com/science/free_energy/4.html)

Visto que a aplicação de muitos motores magnéticos a bordo traria uma série de dificuldades com relação à proximidade de peças e estruturas metálicas, além da dificuldade de operação e precisa manipulação da rotação imprimida, considera-se a geração de energia elétrica como forma de aplicação mais viável a bordo. Projetando-se um motor magnético de grande porte capaz de gerar mais que 1000KW acoplado a uma máquina geratriz, dotado de sistema capaz de compensar variações na tensão e frequência de saída ocasionadas por variações na rotação do motor, essa tecnologia poderia revolucionar o transporte marítimo. Entre outros ajustes e aprimoramentos para tornar possível a aplicação desse motor a bordo,

encontramos diversificados suportes por parte da eletrônica, mecânica, e qualquer outra área de aplicação da física.

**Figura 25: Muammer Yildiz com seu motor puramente magnético**



Fonte: [http://pesn.com/2013/01/04/9602242\\_BSMH-Yildiz\\_All-Magnet-Motor\\_30-Day\\_University\\_Test\\_Pending/](http://pesn.com/2013/01/04/9602242_BSMH-Yildiz_All-Magnet-Motor_30-Day_University_Test_Pending/)

## 4.2 Células a Combustível

Célula a Combustível é um transdutor eletroquímico, de operação contínua, que converte energia química em energia elétrica ao combinar um átomo de oxigênio a dois átomos de hidrogênio produzindo água, energia elétrica e energia térmica. Ela opera sob elevada eficiência energética, pois converte diretamente energia química em energia elétrica, sem as perdas da conversão da energia química dos combustíveis fósseis, por exemplo, em energia térmica para posterior conversão em energia elétrica (e sem as restrições termodinâmicas do ciclo de Carnot).

Sua operação produz baixo impacto ambiental: sem vibrações, sem ruídos, sem combustão, sem emissão de particulados e, dependendo da tecnologia, sem emissão de gases estufa. Além disto, no atual estágio de desenvolvimento, sem emissão de gases ácidos e com baixa poluição. Ela é de operação contínua, pois, diferentemente das baterias químicas, gera energia elétrica enquanto houver

fornecimento do combustível e do oxidante, sem nunca 'perder a carga', como acontece com as pilhas e baterias comuns. Quando associadas em conjuntos são chamadas de pilhas a combustível, esta associação se justifica para produzir correntes e cargas elétricas compatíveis com as atuais necessidades energéticas.

#### **4.2.1 Hidrogênio como combustível**

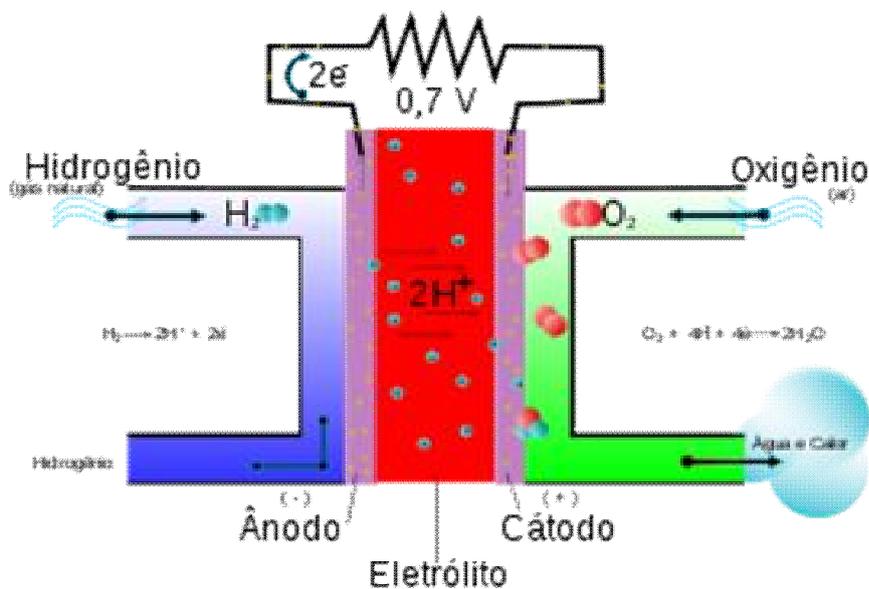
O sistema de conversão da energia elétrica utilizado pelas pilhas a combustível opera em eletrólise reversa, combinando átomos de hidrogênio a átomos de oxigênio formando água neste processo. Esta característica permite a utilização de uma vasta série de espécies químicas compostas predominantemente por hidrogênio, a exemplo do gás hidrogênio, passando por hidrocarbonetos de origem mineral, gasolina, por exemplo, até hidrocarbonetos de origem vegetal, a exemplo do etanol, o nosso conhecido álcool anidro.

Muitas substâncias se mostram ativas para atuar como combustível em célula a combustível, dentre eles se destacam o hidrogênio, metanol, hidrazina, etanol, hidrocarbonetos de baixo peso molecular, dentre outras. Porém estes sistemas produzem gases indesejáveis como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), embora em menor quantidade que qualquer fonte convencional.

O hidrogênio puro é o combustível ideal para alimentar as células a combustível, mas seu uso ainda não é favorável devido ao custo de sua obtenção e, principalmente, devido às dificuldades em armazenar, transportar e manusear esta substância. Mesmo em sua forma líquida ou combinado na forma de hidreto metálico há uma justificável preocupação que impõe severas exigências de segurança. Como alternativa estuda-se, por exemplo, a reforma de metanol ou etanol. Nesta tecnologia, o hidrogênio é separado da molécula do álcool no momento que será utilizado na célula. Esta tecnologia possui algumas vantagens quando comparada à utilização do hidrogênio puro. Além do seu custo mais baixo, ela é a mais compatível com a atual infra-estrutura instalada de distribuição de combustíveis. Essa classe de PEMFC's é denominada de DEFC (do inglês, Direct Ethanol Fuel Cells), que apesar de ser considerada uma tecnologia promissora para aplicações veiculares e portáteis, ainda apresenta um grande desafio tecnológico para alcançar os níveis de corrente elétrica e potência atingidos pelas células que consomem o hidrogênio puro.

O desenvolvimento destes portentos tecnológicos levou a um número grande de soluções e ao aparecimento de várias tecnologias de funcionamento, produção ou modo de utilização.

**Figura 26: Processo químico na célula a combustível**



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula\\_de\\_combust%C3%ADvel](https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_de_combust%C3%ADvel)

Esse é o esquema de uma célula a combustível, mas, se associarmos várias células em série, o resultado será uma pilha de combustível, com maior potência. Observe que o gás hidrogênio (H<sub>2</sub>), que é o combustível, é bombeado para dentro da estrutura porosa do ânodo (pólo negativo), que nesse caso é constituído de níquel. Depois de atravessá-lo, o hidrogênio passa para o eletrólito (solução aquosa de hidróxido de potássio, KOH(aq)), onde se dissolve e reage, formando o cátion H<sup>+</sup> e liberando elétrons. Assim, a semirreação do ânodo pode ser representada por: Ânodo:  $1\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^-$  Esses elétrons são conduzidos até o cátodo por meio do circuito externo. O cátodo é um eletrodo de níquel recoberto de óxido de níquel hidratado (Ni(OH)(s)) que catalisa a redução do oxigênio (proveniente geralmente do bombeamento de ar), que ocorre quando ele recebe os elétrons. Desse modo, a semirreação que ocorre no cátodo é: Cátodo:  $\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 1\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-(\text{aq})$  A reação global é dada por:  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  Veja que além da eletricidade produzida, essa célula gera água, o que corresponde a uma das suas principais vantagens. É por isso que ela é muito usada em espaçonaves, principalmente as americanas, tais como Gemini, Apollo e o Ônibus

espacial. Para se ter uma ideia, em 7 dias, sendo movida à célula de combustível, a nave americana Apollo consome 680 kg de hidrogênio e produz 720 L de água.

As células de combustível são uma tecnologia promissora para reduzir a poluição nos rios e oceanos. Os motores a gásóleo dos navios emitem quantidades elevadas de CO<sub>2</sub> e enxofre.

Desde 2005, um consórcio europeu trabalha para encontrar uma alternativa aos motores de combustão interna. Uma instituição de pesquisa italiana na área naval, Cetena, situada perto de Milão, coordena a investigação. O projeto chama-se MC WAP e visa estudar as aplicações práticas das células de combustível de carbonato fundido.

A célula a combustível de carbonato fundido utiliza o hidrogênio obtido a partir de um sistema que converte gásóleo num gás rico em hidrogênio e o ar proveniente do compressor de uma microturbina. A reação produz eletricidade e calor, sem combustão. Não havendo combustão significa que há menos emissão de gases com efeito de estufa.

Graças à célula de combustível de carbonato fundido é possível produzir energia suficiente para uma parte das necessidades dos grandes navios, mas ainda não é aplicada à propulsão. A energia produzida por este sistema, cerca de 250 kilowatts, representa uma unidade de produção da energia de reserva que pode alimentar os sistemas essenciais a bordo, tais como os sistemas de controle, comunicação, iluminação e sistemas principais auxiliares. Para produzir energia suficiente, a célula deve ser alimentada por um gás sintético obtido a partir de um sistema que converte o gásóleo num gás rico em hidrogênio. Este gás está a ser testado na Universidade de Freiberg, na Alemanha.

Os cientistas criaram uma máquina capaz de transformar o combustível dos navios em gás limpo. Removem o enxofre e todas as substâncias poluentes e obtêm um gás limpo. Este sistema quase não emite substâncias nocivas, porque o gásóleo é quase inteiramente transformado em gás de síntese. Esse gás é usado no interior da célula de combustível sem gerar emissões perigosas. A célula de combustível encontra-se em fase de testes.

**Figura 27: Projeto de veículo movido a pilhas de combustível**



Fonte: <https://www.toyota.pt/world-of-toyota/articles-news-events/2014/Toyota-disponibiliza-patentes-a-pilha-de-combustivel.json>

### **4.3 Energia Solar**

O sol é a maior fonte de energia do universo. A quantidade de energia radiada pelo sol no planeta Terra durante apenas um dia equivale ao montante de energia da queima de 70.000 toneladas de carvão. A energia solar é a energia eletromagnética cuja fonte é o sol. Ela pode ser transformada em energia térmica ou elétrica e aplicada em diversos usos.

#### **Energia fotovoltaica**

A energia fotovoltaica é aquela na qual a irradiação solar é transformada diretamente em energia elétrica.

As células fotovoltaicas (ou células solares) são feitas a partir de materiais semicondutores (normalmente o silício). Quando a célula é exposta à luz, parte dos elétrons do material iluminado absorve fótons (partículas de energia presentes na luz solar).

Os elétrons livres são transportados pelo semicondutor até serem puxados por um campo elétrico. Este campo elétrico é formado na área de junção dos materiais, por uma diferença de potencial elétrico existente entre esses materiais semicondutores. Os elétrons livres são levados para fora da célula solar e ficam disponíveis para serem usados na forma de energia elétrica.

A eficiência da conversão é medida pela proporção de radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as células mais eficientes proporcionam 25% de eficiência. Como a incidência de radiação solar sobre a superfície terrestre é baixa, é necessário instalar alguns metros quadrados de coletores.

Um exemplo é o Trimarã Solar construído pela empresa Solar Sailor (2010) para emissão zero de poluentes. A embarcação tem 37 metros de comprimento e capacidade de transporte para 600 pessoas. Sua velocidade atinge até 6 nós usando apenas energia solar.

**Figura 28: Imagem ilustrativa do Trimarã Solar**



Fon

te:<http://www.nauticexpo.com/prod/solar-sailor/product-25025-116711.html>

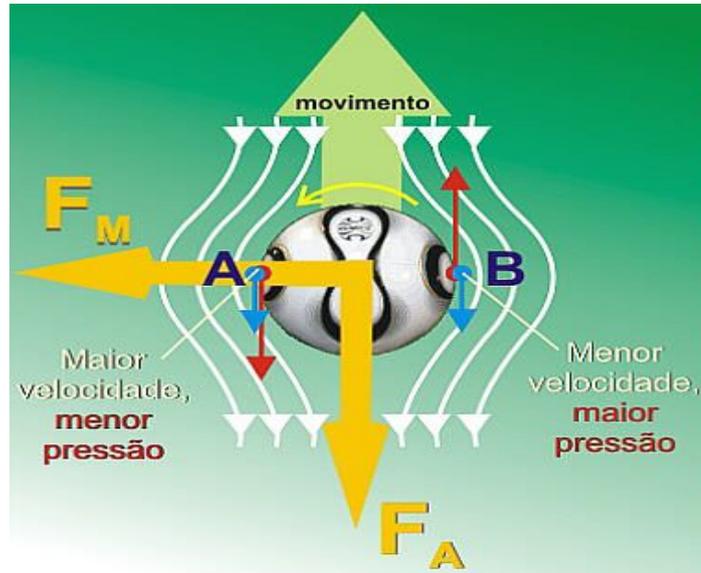
## 4.4 Energia Eólica

### 4.4.1 Rotores Flettner

Os rotores tipo Flettner são corpos cilíndricos giratórios que aproveitam o efeito Magnus dos ventos. O princípio aerodinâmico é baseado no fato de que um

grande cilindro, imerso em uma corrente de fluido, cria uma força perpendicular a direção dessa corrente, ou seja, para o lado que acelera esta corrente de ar. Essa força causa o movimento do navio naquela direção.

**Figura 29: Efeito Magnus**



Fonte: <https://www.cursointellectus.com.br/blog/sem-categoria/efeito-magnus>

O navio E-Ship 1, é equipado com 4 rotores Flettner de 27m de altura e diametro de 4m. Foi lançado em 2010 pela empresa alemã Enercon GmbH, tem 130m de comprimento e 22,5 m de boca.

**Figura 30: Navio E-Ship1**



Fonte:google imagens

Conforme registro online no GL- Germanisher Lloyd (2011), o navio E-Ship 1 é equipado com 2 motores elétricos principais de 3,5 MW cada, contando com 6 geradores de propulsão de 1758 KVA cada, e 3 geradores principais de 1300 KVA cada. O navio possui caldeira de recuperação e turbinas que acionam os rotores Flettner. Segundo a Enerco, este sistema permite a economia de combustível de 30 a 40% a uma velocidade de 16 nós.

#### **4.5 Energia Nuclear**

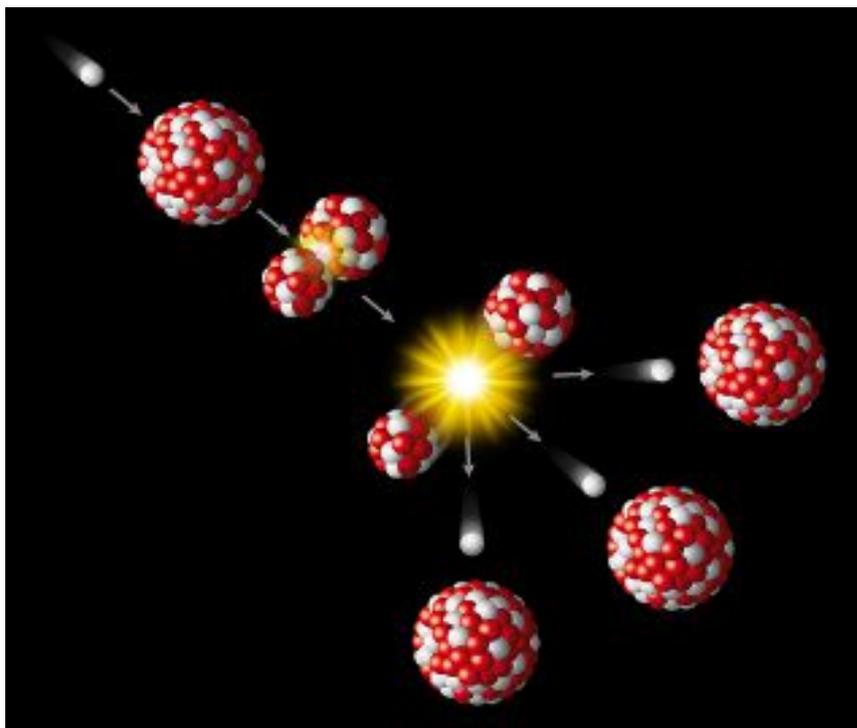
A energia nuclear, também chamada atômica, é obtida a partir da fissão do núcleo do átomo de urânio enriquecido, liberando uma grande quantidade de energia. A energia nuclear mantém unidas as partículas do núcleo de um átomo. A divisão desse núcleo em duas partes provoca a liberação de grande quantidade de energia.

Os primeiros resultados da divisão do átomo de metais pesados, como o urânio e o plutônio, foram obtidos em 1938, com maior preferência para o primeiro. A liberação de energia dos átomos desses elementos é de uma grandeza maior, podendo assim, ter um melhor aproveitamento. A princípio, a energia liberada pela fissão nuclear foi utilizada para objetivos militares. Posteriormente, as pesquisas avançaram e foram desenvolvidas com o intuito de produzir energia elétrica.

As principais vantagens da energia nuclear são: não liberação de gases estufa, pequena quantidade de resíduos e independência de fatores climáticos.

Desvantagens: O lixo nuclear radioativo deve ser armazenado em locais seguros e isolados; mais cara, quando comparada a outras formas e risco de acidentes nucleares.

**Figura 31: Reação em cadeia de fissão de urânio**



Fonte: <http://manualdaquimica.uol.com.br/fisico-quimica/fissao-nuclear.htm>

#### 4.5.1 Exemplo de aplicação em navios

##### **4.5.1.1 NS 50 LetPobedy**

O navio russo, o maior quebra-gelo do mundo, é dotado de: 130 metros de comprimento, 25 mil toneladas de peso e conta com dois geradores nucleares próprios.

Se o barco fosse equipado com motores movidos a diesel, seriam necessárias mais de 100 toneladas de combustível por dia, enquanto que a tecnologia nuclear consome somente cerca de 1 quilo diário de urânio enriquecido para funcionar.

**Figura 32: NS 50 LetPobedy**



Fonte

:<http://l.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.tecmundo.com.br%2Fnavio%2F17189-ns-50-let-pobedy-o-navio-movido-a-energia-nuclear.htm&h=hAQFFaUw5>

#### **4.5.1.2 USS Enterprise**

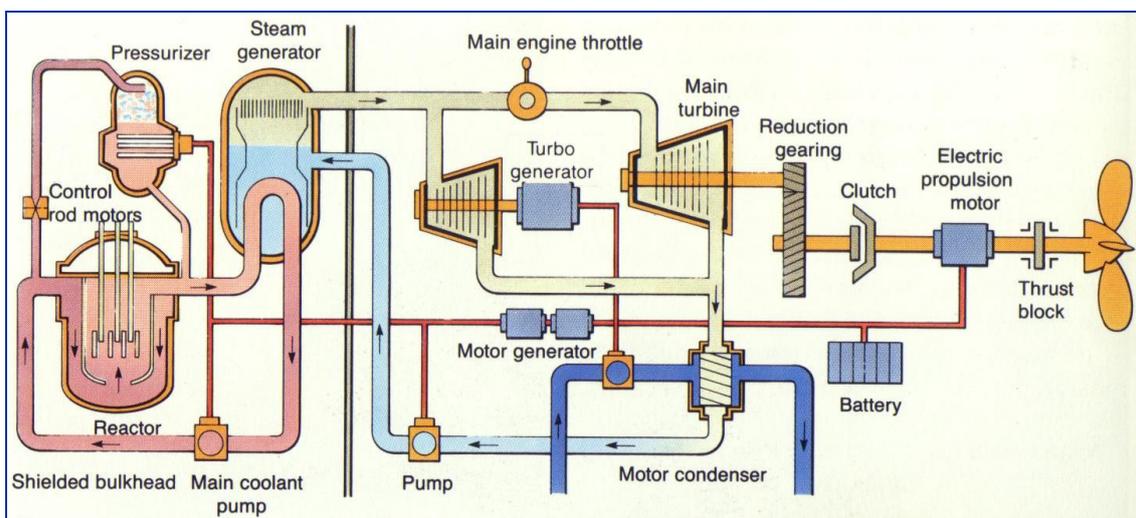
O CVN-65 USS Enterprise foi o primeiro porta-aviões de propulsão nuclear inventado na história da humanidade, além de ser o maior barco militar em operação do mundo. Este navio faz parte da frota da Marinha dos Estados Unidos e foi construído em 1961, possuindo 342,3 metros de comprimento e sendo movido por oito reatores nucleares, podendo desenvolver 33 nós e transportar até 90 aeronaves.

**Figura 33: USS Enterprise**



Fonte: <http://gigantesdomundo.blogspot.com.br/2011/10/o-maior-porta-avioes-do-mundo.html>

**Figura 34: Instalação propulsora de turbina a vapor com utilização de energia nuclear**



Fonte: <http://www.team-bhp.com/forum/commercial-vehicles/171872-submarines-indian-navy.html>

Pode-se observar que o sistema utiliza o intenso calor gerado pela fissão nuclear para aquecer água em um gerador de vapor. O vapor é direcionado para uma turbina que transformará a energia de pressão do vapor em energia mecânica

para acionar os propulsores. Um esquema semelhante pode ser usado para gerar energia elétrica a bordo, utilizando-se turbo - geradores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo apresentar possíveis formas de reduzir a emissão de poluentes, redução do consumo de combustível e maximização do rendimento das instalações de máquinas em navios, dando ênfase aos sistemas de propulsão.

Foi feita uma pesquisa buscando diversos dispositivos, tecnologias e alternativas que estão sendo propostas para redução ou substituição dos combustíveis fósseis. Foram apresentadas algumas soluções em desenvolvimento como o uso de combustíveis que oferecem queima limpa, motores que utilizam energia totalmente independente de combustíveis e outras formas de energia alternativas como a força dos ventos ou a radiação do Sol.

Ao longo do trabalho, notou-se que grande parte dos novos projetos ainda depende da pesquisa em áreas específicas do conhecimento humano, como a física, resistência de materiais e química; pesquisas essenciais para dar suporte tecnológico ao desenvolvimento dos mesmos.

Ainda assim, há de se notar que apesar das restrições, dificuldades e falta de recursos, muitas vezes oriundas de falta de interesse por parte das grandes empresas capitalistas, novas idéias continuam surgindo e algumas já demonstrando grandes melhorias. Esses esforços são de enorme ajuda na busca pela otimização das máquinas e por um planeta mais limpo.

## REFERÊNCIAS

Máquinas de combustão interna. Disponível em:

<http://classroom.orange.com/pt/motores-de-dois-tempo-gasolina-e-diesel.html>.

Acessado em 12 de março de 2016

Sistema diesel elétrico. Disponível em:

<http://docplayer.com.br/4858474-Universidade-federal-do-rio-de-janeiro-escola-politecnica-engenharia-naval-e-oceanica.html>.

Acessado em 16 de março de 2016

Motores magnéticos. Disponível em:

<http://monografias.brasescola.uol.com.br/fisica/motores-magneticos.htm>. Acessado

em 2 de abril de 2016

Máquinas de combustão interna. Disponível em:

<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combu>.

Acessado em 21 de junho de 2016

Azipod. Disponível em:

<http://tecnologiamaritima.blogspot.com.br/2012/07/posicionamento-dinamico-parte-4.html>.

Acessado em 20 de junho de 2016

Propulsão a vapor. Disponível em:

<http://www.franciscogomesdasilva.com.br/as-maquinas-a-vapor-e-a-propulsao-a-roda-de-pas-e-de-helices/>.

Acessado em 19 de março de 2016

Magnetismo: Disponível em: <http://www.infoescola.com/>. Acessado em 8 de julho de 2016

Energia solar. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/index.php>.

Acessado em 10 de julho de 2016

Sistema azipod. Disponível em: <http://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-azipod-propulsion-system-on-ship/>.

Acessado em 12 de setembro de 2016

Turbinas a gás. Disponível em: <http://www.mecanicaindustrial.com.br/485-o-que-e-uma-turbina-de-propu>.

Acessado em 3 de setembro de 2016

História da navegação. Disponível em:

[http://www.museunacionaldomar.com.br/estrutura/historia\\_navegacao.htm](http://www.museunacionaldomar.com.br/estrutura/historia_navegacao.htm).

Acessado em 9 de abril de 2016

Propulsão Nuclear: Disponível em: <http://www.team-bhp.com/forum/commercial-vehicles/171872-submarines-i>.

Acessado em 17 de março de 2016