

**MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS**

**REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA GERADA PELOS SISTEMAS DE AR  
CONDICIONADO E AR DE LAVAGEM DO MOTOR PRINCIPAL**

**LUIZ CARLOS DA SILVA LEITE**

**RIO DE JANEIRO  
2015**

**MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS**

**REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA GERADA PELOS SISTEMAS DE AR  
CONDICIONADO E AR DE LAVAGEM DO MOTOR PRINCIPAL**

**LUIZ CARLOS DA SILVA LEITE**

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA) como condição para a conclusão do curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas (APMA).

Orientador: OSM Aristóteles de Mello

**RIO DE JANEIRO  
2015**

**MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS**

**REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA GERADA PELOS SISTEMAS DE AR  
CONDICIONADO E AR DE LAVAGEM DO MOTOR PRINCIPAL**

**LUIZ CARLOS DA SILVA LEITE**

Orientador: OSM Aristóteles de Mello

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

Nota Final: \_\_\_\_\_

---

Assinatura do Orientador

**RIO DE JANEIRO  
2015**

## DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a minha mãe, minha esposa e minha irmã, que sempre me apoiaram nessa profissão e sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho e me ajudar nos momentos difíceis que encontrei durante todo esse tempo, dando força e coragem para seguir em frente e jamais desistir.

A minha família e esposa por sempre me apoiarem nos momentos de dificuldades.

Ao Professor e Chefe de Máquinas Aristóteles de Mello pela orientação e apoio.

Ao meu grande amigo e Chefe de Máquinas Everaldo Rodrigues de Moraes, que me incentivou a ser Oficial de Máquinas e sempre procurar crescer na profissão.

Ao Chefe de Máquinas Nilson Carlota de Souza que foi meu grande mestre a bordo, me incentivando a crescer na profissão e fazer este curso.

## EPÍGRAFE

Quando a última árvore tiver caído, quando o último rio tiver secado, quando o último peixe for pescado, vocês vão entender que dinheiro não se come.

Greenpeace

## RESUMO

Este estudo tem como objetivo chamar a atenção para o problema da escassez de água doce no planeta Terra e a bordo das embarcações (navios, rebocadores offshore e plataformas) e trazer algumas soluções que podem ajudar a diminuir a falta desse bem tão precioso e vital para a vida humana. Vamos estudar o processo de funcionamento de dois equipamentos de bordo (sistema de ar de lavagem do motor principal e o sistema de ar condicionado central) e mostrar que esses equipamentos geram como resíduo de seu trabalho água, e como essa água pode ser reaproveitada a bordo ao invés de ser descartada como lixo.

Palavras-chaves: Reaproveitamento de água, ar condicionado central, ar de lavagem.

## **ABSTRACT**

This study aims to draw attention to the problem of scarcity of fresh water on planet earth and on board vessels (ships, offshore platforms and tugs) and bring some solutions that can help reduce the lack of this precious asset and vital to human life. We studied the process of running two on-board equipment (the purge air system of the main engine and central air conditioning system) and show how these devices generate as waste water of your work and how that water can be reused on board rather than being discarded as waste.

Keywords: Water Reuse, central air conditioning, air wash.

## SUMÁRIO

<b>1 – Introdução.....</b>	<b>11</b>
<b>2 – Motor Principal.....</b>	<b>12</b>
2.1 – Motor Superalimentado.....	14
2.2 – Turbocompressor.....	15
2.3 – Sistema de Resfriamento de Ar.....	16
2.4 – Geração da Água Através do Resfriamento do Ar.....	17
<b>3 – Sistema de Ar Condicionado Central.....</b>	<b>18</b>
3.1 – Condicionamento de Ar.....	19
3.2 – Compressores.....	20
3.2.1 – Compressores Alternativos.....	20
3.2.2 – Compressores Rotativos.....	21
3.2.3 – Compressores Centrífugos.....	23
3.3 – Condensador.....	25
3.4 – Controle de Fluxo do Fluido Refrigerante no Sistema.....	26
3.4.1 – Válvula de Expansão Manual.....	27
3.4.2 – Válvula de Expansão Automática.....	27
3.4.3 – Válvula de Expansão Termostática.....	28
3.5 – Evaporador.....	29
3.6 – Geração de Água Através do Resfriamento do Ar.....	30
<b>4 – Aplicação da Água.....</b>	<b>31</b>
<b>5 – Conclusão.....</b>	<b>32</b>
<b>6 – Referências Bibliográficas.....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planeta Terra.....	11
Figura 2 - Motor Principal.....	13
Figura 3 - Turbocompressor.....	15
Figura 4 - Sistema de Resfriamento do Ar.....	16
Figura 5 - Gotículas de Água se Desprendendo do Ar.....	17
Figura 6 - Sistema de Ar Condicionado Central.....	18
Figura 7 - Compressor Alternativo.....	21
Figura 8 - Compressor Rotativo Helicoidal.....	23
Figura 9 - Compressor Centrífugo.....	24
Figura 10 - Condensador Resfriado à Água.....	25
Figura 11 - Válvula de Expansão.....	26
Figura 12 - Geração de Água Durante Resfriamento do Ar.....	30

## 1. Introdução

O planeta Terra é composto por  $\frac{3}{4}$  de água e  $\frac{1}{4}$  de terra, como mostra a figura 1; com essa proporção se supõe que temos água de sobra para usarmos à vontade. Só que dessa proporção, 97,5% é salgada e imprópria para o consumo humano, sendo que apenas 2,5% de toda essa água que compõem o planeta Terra é própria para o consumo humano e suas atividades. Segundo dados da UNICEF (Fundo das Nações Unidas para Criança) menos da metade da população tem acesso à água potável. A irrigação corresponde a 73% do consumo de água, indústria 21% e apenas 6% destina-se ao consumo humano.



**Figura 1: Planeta Terra**

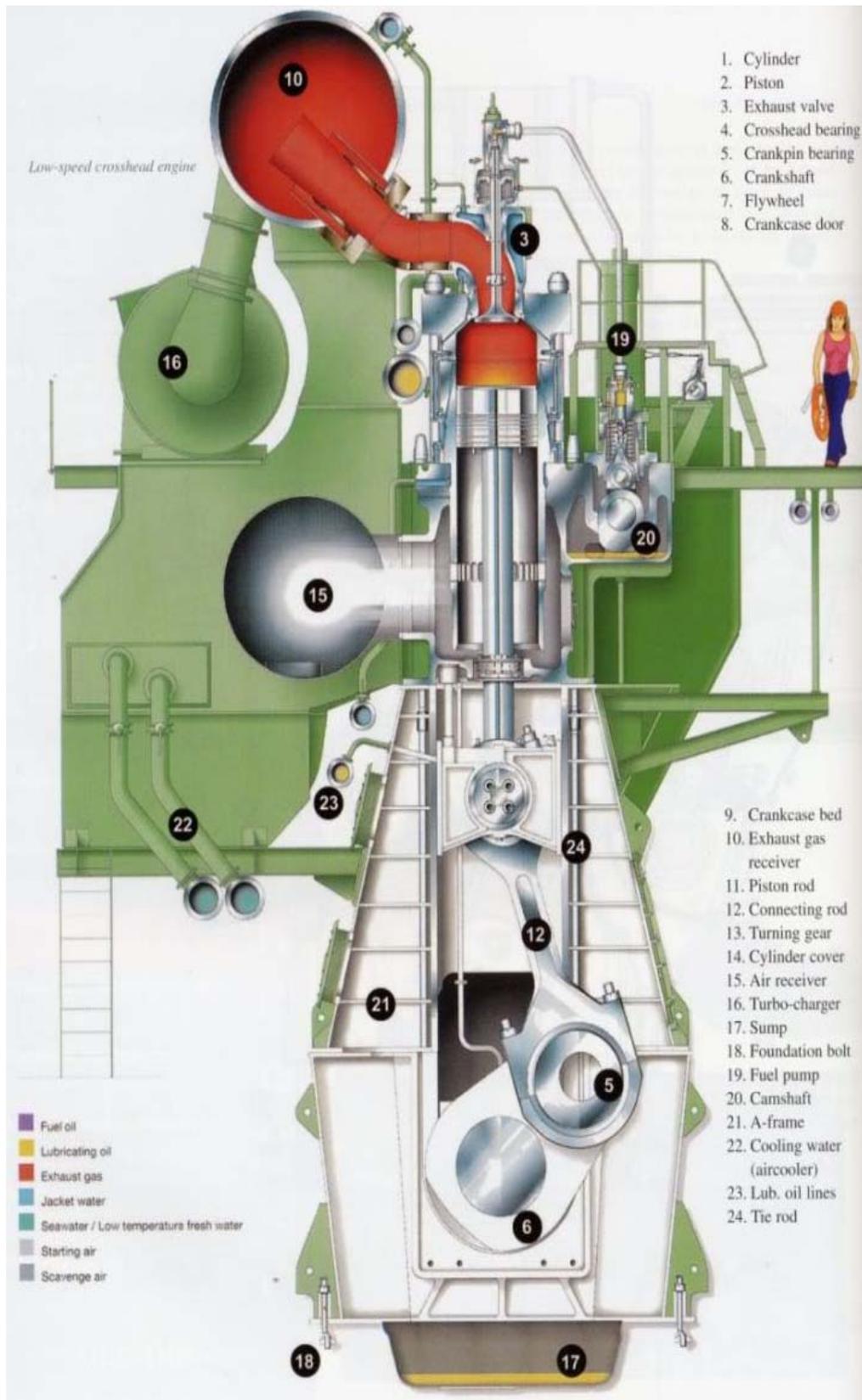
**Fonte: Guia Geográfico, 2015.**

O corpo humano em sua maior parte é composto de água, e para manter seu funcionamento necessitamos repor essa água diariamente. Isso torna a água um recurso vital para a vida humana, e a bordo das embarcações não é diferente, pois além do consumo humano a água é um recurso essencial para manter em funcionamento equipamentos e sistemas. Nas embarcações podemos adquirir água de duas maneiras: produzindo a mesma a partir da dessalinização da água do mar ou comprando água de terra. A bordo existem dois sistemas que produzem água como resultado de seu trabalho, sendo eles: sistema de ar condicionado central e sistema de ar de lavagem do motor principal, que serão estudados nessa monografia (ROCHA; et al, 2011).

## 2. Motor Principal

O motor principal é uma máquina de combustão interna que funciona com combustíveis derivados do petróleo, que são eles: óleo diesel ou *fuel oil* (óleo pesado), são motores robustos de dois tempos, potência elevada e baixa rotação, como representado na figura 2. São motores sobrealimentados nos quais o ar de admissão é comprimido pelo sobrealimentador, e após passar por um resfriador de ar (resfriador de ar de lavagem) entra em um coletor que o distribui pelos cilindros, sendo admitido nos cilindros através de uma janela, conhecida como janela de admissão. Além da janela de admissão existem janelas de descarga ou válvula de descarga. Já essa última fica localizada na cabeça do cilindro sendo acionada através de uma pressão de óleo e tanto a janela como a válvula têm como finalidade expulsar da câmara de combustão os gases residuais da queima do combustível. Dentro da câmara o sistema funciona da seguinte maneira: ao se deslocar do ponto morto inferior para o ponto morto superior, o êmbolo cobre a janela de admissão e em seguida a válvula de descarga fecha e o ar admitido anteriormente começa a ser comprimido. Antes de o êmbolo atingir o ponto morto superior, o combustível é injetado na câmara; ao se encontrar com o ar já comprimido e com temperatura elevada, ocorre a queima. A força dos gases dessa queima empurra o êmbolo para o ponto morto inferior; antes do êmbolo atingir o ponto morto inferior e descobrir a janela de admissão, a válvula de descarga abre e uma parte desses gases da combustão é descarregado. Ao descobrir a janela de admissão, uma nova quantidade de ar fresco é admitido no cilindro e expulsa o restante dos gases, recebendo em seguida uma nova quantidade de ar para o início do novo ciclo, e nesse mesmo tempo a válvula de descarga é fechada. Os principais sistemas que compõem o motor principal são: (RODRIGUES, 2000; SILVA, 2007).

- Sistema de admissão de ar;
- Sistema de lubrificação;
- Sistema de combustível;
- Sistema de arrefecimento;
- Sistema de exaustão e
- Sistema de partida.



**Figura 2: Motor Principal**  
**Fonte: Dieselduck, 2015.**

## 2.1 Motor Superalimentado

É um processo de alimentação no qual o ar é aspirado do ambiente através de um turbocompressor e comprimido antes de ser entregue ao cilindro. Esse processo de alimentação permite aumentar consideravelmente a potência dos motores diesel sem a necessidade de aumentar seu tamanho. Com esse sistema se consegue aumentar em até 50% a potência do motor. Para compensar esse aumento de potência sem aumento de seu tamanho foi necessário aumentar a resistência dos componentes do motor, para resistir às pressões e temperaturas de trabalho que serão maiores. Com esse diferencial de se poder aumentar a potência sem a necessidade de aumentar o tamanho do motor, esse sistema se tornou o preferido na propulsão de navios mercantes, principalmente nos navios de pequeno e médio porte, onde se têm a necessidade de instalar motores de grande potência em pequenos espaços (RIBEIRO, 2000; SILVA, 2007).

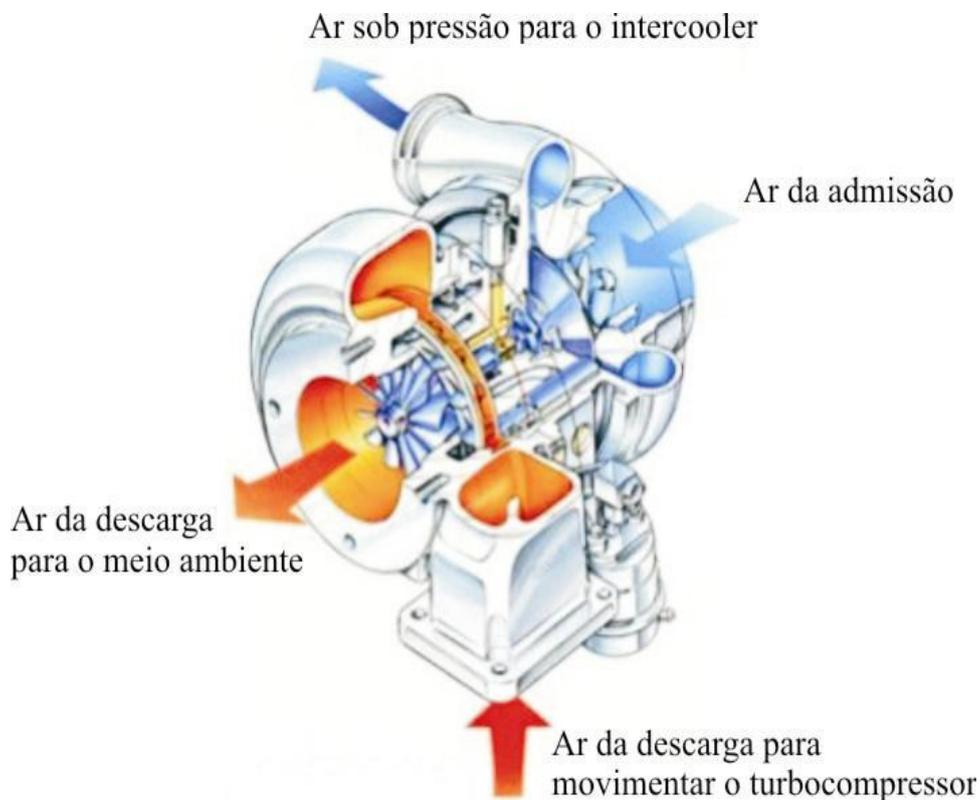
O sucesso do sistema de superalimentação nos motores diesel foi tamanho, que nos dias de hoje somente motores diesel de pequena potência ou que não justifiquem o custo de sua instalação não possuem esse sistema. Se fizermos uma comparação com dois motores diesel, um com aspiração natural e o outro com superalimentação e ambos de potências iguais poderemos observar as seguintes vantagens do motor superalimentado em relação ao de aspiração natural:

- Menor volume;
- Menor peso;
- Maior rendimento;
- Menor preço.

Também existe outro dispositivo que é usado para obtenção da superalimentação. Esse dispositivo utiliza parte da potência do motor para acionar mecanicamente um compressor do tipo lóbulo ou palheta para admitir o ar. Esse sistema é simples e sua aplicação é mais comum em motores diesel de pequeno porte (RODRIGUES, 2000; SILVA, 2007).

## 2.2 Turbocompressor

É normalmente denominado de turbina, turbocompressor, supercharger. O que mais importa não é como é chamado, e sim seus efeitos sobre o desempenho do motor. É constituído por um conjunto de dois rotores montados nas extremidades de um eixo, denominados rotores quente e frio. A turbina é acionada pela energia cinética dos gases da descarga, o ar quente provindo da descarga de gases do motor principal impulsiona o rotor quente fazendo com que o rotor frio admita ar para os cilindros, como mostra a figura 3. O turbocompressor tem como objetivo aumentar a pressão do ar no coletor de admissão acima da pressão atmosférica. Isso aumenta a massa de ar admitida sem aumento do volume e conseqüentemente possibilita que uma maior quantidade de combustível seja injetada na câmara resultando em um aumento de potência para o motor. O turbocompressor aumenta a potência do motor e reduz o consumo específico de combustível em torno de 5% (VARELLA, 2010; SANTOS, 2010).



**Figura 3: Turbocompressor**

**Fonte: Varella; Santos, 2010.**

### 2.3 Sistema de Resfriamento de Ar

O ar admitido e comprimido pelo turbocompressor sofre um aumento de pressão e temperatura, e devido a esse aumento de temperatura não pode ser admitido nos cilindros. Para corrigir essa temperatura foi criado um sistema de resfriamento para esse ar, também conhecido como intercooler e sistema de resfriamento do ar de lavagem. Um resfriador é montado após o coletor de admissão do ar como mostra a figura 4. Esse resfriador é normalmente do tipo feixe tubular, sendo circulado por água. O ar admitido pela turbina passa entre os tubos do feixe tubular do resfriador e troca calor com a água que circula dentro dos tubos do feixe tubular, reduzindo sua temperatura e aumentando sua densidade. Em seguida o ar é armazenado no caixão de ar de lavagem, antes de ser entregue aos cilindros (RODRIGUES, 2000; VARELLA, 2010; SANTOS, 2010).

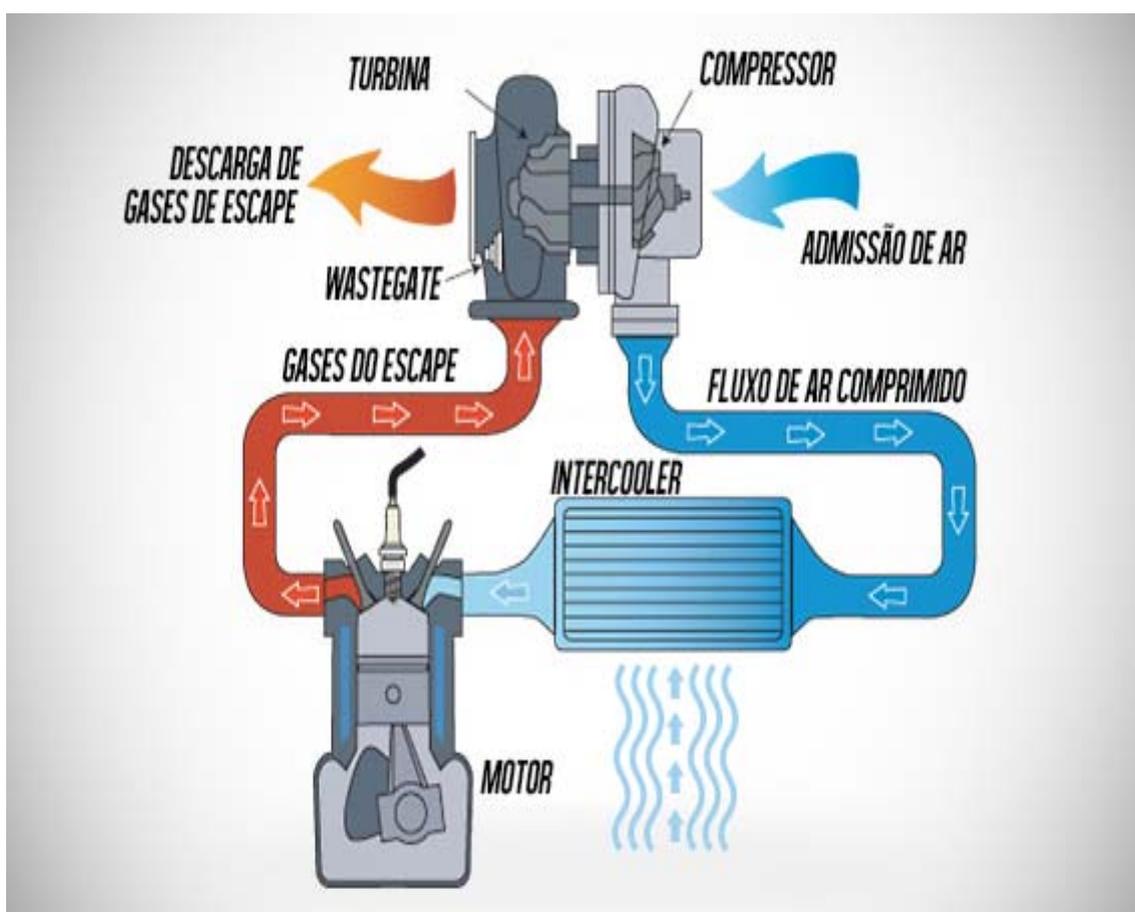


Figura 4: Sistema de Resfriamento do Ar

Fonte: Flatoutcombr, 2014.

## 2.4 Geração da Água Através do Resfriamento do Ar

O ar admitido e comprimido pelo turbocompressor sofre um aumento de pressão e temperatura, e devido a esse aumento de temperatura ele deve ser resfriado. Durante sua admissão ele carrega junto toda a umidade (vapores de água) que estão contidos no ambiente. Enquanto o ar está sendo comprimido, as moléculas de água contida nessa umidade começam a se aglomerar entre si. Devido à diferença de temperatura entre o ar e a água que está circulando no feixe tubular, quando o ar se choca com os tubos do feixe tubular ocorre o ponto de orvalho, e todas as moléculas de água contidas no ar se condensam, caindo na forma de gotícula de água. Devido à diferença de densidade entre os dois fluídos, o ar que possui densidade menor que a água segue para o caixão de ar de lavagem e a água com densidade maior que a do ar se concentra no fundo do resfriador, sendo drenada por uma rede para o tanque de esgoto e jogada fora como resíduo. Na figura 5, podemos observar melhor esse fenômeno no qual as linhas tracejadas representam o ar. As gotículas que se desprendem das linhas representam as gotículas de água se desprendendo do ar durante o choque com o feixe tubular e se depositando no fundo do resfriador (RODRIGUES, 2000).

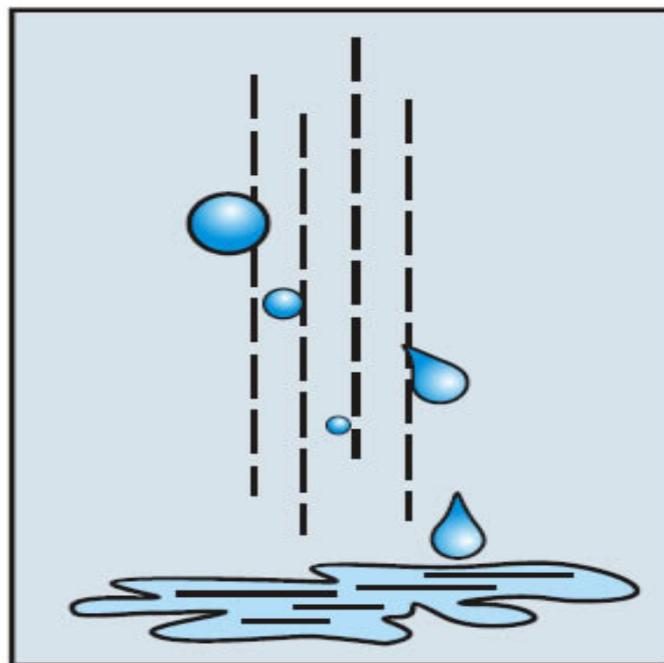


Figura 5: Gotículas de Água se Desprendendo do Ar

Fonte: Pneumatikonline, 2015.

### 3. Sistema de Ar Condicionado Central

O sistema de ar condicionado central, instalado nas embarcações, tem como finalidade fazer o condicionamento do ar dos compartimentos da superestrutura. Seu sistema é composto basicamente de quatro componentes principais que são: compressor, condensador, válvula expansora e evaporador. Na figura 6, temos a representação de um sistema, no qual o condensador resfria o fluido refrigerante através do ar, ao contrário dos sistemas presente a bordo onde o condensador resfria o fluido refrigerante através da troca de calor com água.

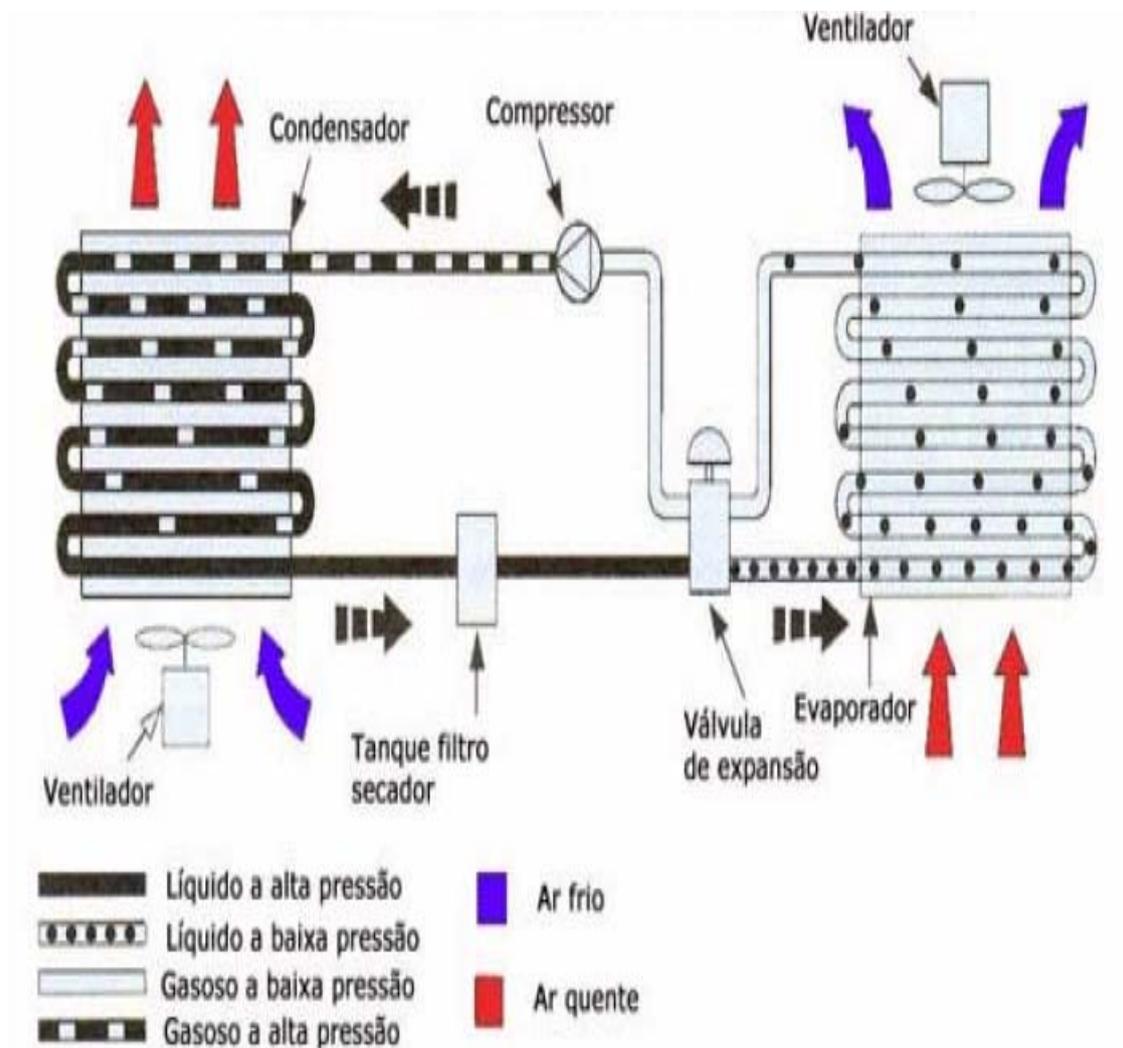


Figura 6: Sistema de Ar Condicionado Central

Fonte: Rfrimaq, 2015.

### **3.1 Condicionamento de Ar**

O condicionamento de ar diz respeito à condição do ar em um espaço ou área designada. Envolve não somente o controle da temperatura do espaço, mas também da umidade do movimento do ar ao longo de sua filtragem e purificação. As aplicações de condicionamento de ar são de dois tipos, para conforto humano e aplicação industrial. Todo condicionamento de ar destinado ao conforto humano é chamado de condicionamento de ar de conforto. As instalações típicas de condicionamento de ar de conforto encontram-se em casa, escritórios, escolas, hotéis, automóveis, trens e navios. Qualquer condicionamento de ar que não esteja destinado ao conforto humano é chamado de condicionamento de ar industrial. Sua aplicação não tem limite tanto em variedade quanto em número, e suas funções são: (DOSSAT, 1973).

- Controlar o teor de umidade de materiais hidrocópicos;
- Controlar as taxas de reações químicas e bioquímicas;
- Limitar as variações de tamanho dos artigos de precisão manufaturados.

## **3.2 Compressores**

Os compressores usados na refrigeração são de três tipos, que têm suas vantagens em seu campo de uso. Sua escolha depende da aplicação, dimensão, natureza, instalação e do refrigerante usado. Os três tipos são:

- Alternativos;
- Rotativos;
- Centrífugos.

### **3.2.1 Compressores Alternativos**

É o compressor mais usado, sendo empregado em todos os campos da refrigeração. Ele é especialmente adaptado para fluidos refrigerantes que requerem deslocamento relativamente pequeno e com condensação a pressões relativamente altas. Economicamente não podem ser aplicados em sistemas com refrigerantes de baixa pressão que requerem um grande deslocamento volumétrico por unidade de tempo e capacidade, devido às áreas limitadas da válvula. Também são muito empregados em instalações de baixa temperatura e ultra baixa temperatura. Podem ser de operação simples ou de operação dupla. Os compressores de operação simples geralmente são do tipo blindado; a compressão do vapor ocorre somente sobre um lado do pistão e somente uma vez durante a rotação do eixo de manivela. Nos compressores de operação dupla geralmente empregam-se de cárteres que são abertos para o lado de fora mais isolado do gás do sistema; a compressão do vapor ocorre alternadamente sobre ambos os lados do pistão, de modo que ela ocorra duas vezes durante cada rotação do eixo de manivela. Não é prático em tamanhos pequenos, portanto é limitado a aplicações industriais. Na figura 7 temos a imagem em corte de um compressor do tipo alternativo de pistão (DOSSAT, 1973).



**Figura 7: Compressor Alternativo**

**Fonte: FScurtis, 2015.**

### **3.2.2 Compressores Rotativos**

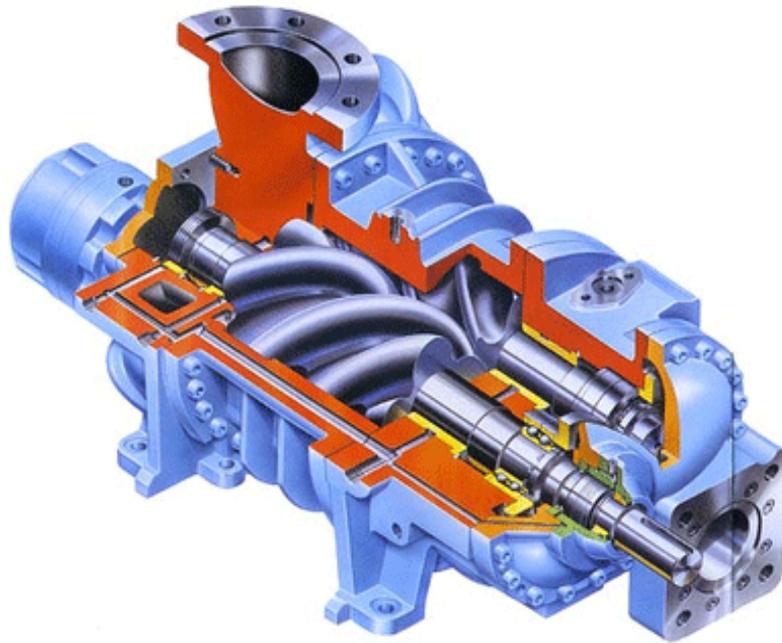
Os compressores rotativos mais comuns são de três tipos:

- Pistão de Rolamento;
- Aletas Giratória;
- Lóbulo Helicoidal (rosca).

O tipo pistão de rolamento emprega um rolo cilíndrico de aço que gira sobre um eixo excêntrico, sendo o último montado concentricamente num cilindro. Por causa do excêntrico do eixo, o rolo cilíndrico é excêntrico com o cilindro e toca a parede do cilindro no ponto de folga mínima. Quando o eixo gira, o rolo gira ao redor da parede do cilindro na direção da rotação do eixo sempre mantendo contato com a parede do cilindro com relação ao eixo de came, a superfície interna do rolo do cilindro move-se em sentido contrário à direção de rotação do eixo do mesmo modo que um mancal de manivela. Uma lâmina com carga de mola montada numa ranhura na parede do cilindro apóia firmemente o rolo durante todo o tempo. A lâmina move-se dentro e fora da ranhura do cilindro para acompanhar o rolo quando o último gira ao redor da parede do cilindro (DOSSAT, 1973).

Compressor rotativo com aleta giratória emprega uma série de aletas ou pás giratórias que são instaladas equidistantes ao redor da circunferência de um rotor chanfrado. O eixo do rotor é montado excentricamente em um cilindro de aço, de modo que o rotor toca de perto a parede do cilindro de um lado, sendo os dois separados somente pela película de óleo neste ponto. Diretamente oposto a este ponto, a folga entre o rotor e a parede do cilindro é máxima. Os cabeçotes ou placas terminais são instalados nas extremidades do cilindro para vedar o cilindro e fixar o eixo do rotor. As aletas movem-se com movimento alternativo radialmente nas ranhuras do rotor conforme seguem o contorno da parede do cilindro quando o rotor está girando. As aletas são presas firmemente contra a parede do cilindro pela ação de uma força centrífuga desenvolvida pelo rotor rotativo. Em alguns casos, as pás são tencionadas para obter uma vedação mais positiva contra a parede do cilindro (DOSSAT, 1973).

O compressor rotativo helicoidal ou de rosca é um compressor de deslocamento positivo no qual a compressão é obtida pelo engrenamento de dois rotores conjugados, encenados apropriadamente em um cilindro equipado com orifícios de entradas e de descarga apropriados. O rotor macho normalmente é o rotor de acionamento e consiste de uma série de lóbulos (geralmente quatro) ao longo do comprimento do rotor que se engrenam com os sulcos helicoidais correspondentes formados de modo semelhante (geralmente seis) no rotor acionado (fêmea). Quando os rotores giram, o gás é puxado através da abertura de entrada para encher o espaço entre o lóbulo macho e o sulco fêmea. Conforme o rotor continua a girar, o gás é deslocado acima do orifício de sucção e vedado (encerrado) no espaço interlobular. O gás purgado no espaço interlobular é deslocado axial e radialmente e é comprimido pela redução direta do volume, quando o engrenamento dos lóbulos do compressor reduz progressivamente o espaço ocupado pelo gás. A compressão do gás continua até que o espaço interlobular se comunique com o orifício de descarga do cilindro e o gás comprimido deixe o cilindro através destes orifícios. Na figura 8 temos a imagem em corte de um compressor rotativo do tipo helicoidal (DOSSAT, 1973).



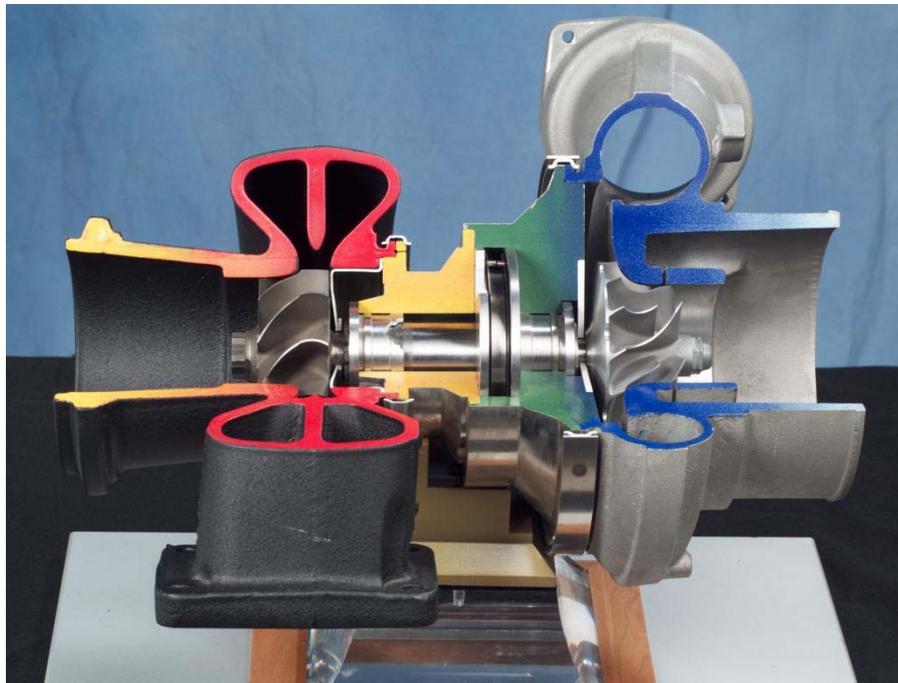
**Figura 8: Compressor Rotativo Helicoidal**

**Fonte: Achecompressores, 2015.**

### **3.2.3 Compressores Centrífugos**

O compressor centrífugo consiste essencialmente de uma série de rodas propulsoras montadas sobre um eixo de aço e revestidas de ferro fundido. O número de rodas propulsoras empregadas depende principalmente da grandeza do alcance termodinâmico que o compressor desenvolver durante o processo de compressão. Os compressores que empregam duas, três e quatro rodas (estágios de compressão) são comuns. As rodas propulsoras de um compressor centrífugo consistem de dois discos, um disco de fricção e um disco de tampa, com um número de pás ou aletas montadas radialmente entre eles. Essas pás são geralmente feitas em aço inoxidável ou de aço de alto teor de carbono com revestimento e chumbo. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao de uma bomba ou ventilador centrífugo. O vapor de baixa pressão e de baixa velocidade é aspirado na cavidade de entrada propulsora ao longo do eixo da árvore do rotor. Ao entrar na roda propulsora, o vapor é forçado radialmente para fora entre o empalhetamento do impulsor pela ação de uma força centrífuga desenvolvida pela roda giratória, e descarregado das pontas da pá para o cárter do compressor em alta velocidade, pressão e temperaturas elevadas. O vapor de alta pressão e alta velocidade é

descarregado da periferia das rodas e coletado em passagens projetadas especialmente no revestimento. O que reduz a velocidade do vapor e o dirige para a entrada do impulsor de estágio próximo ou no caso do último impulsor de estágio, para uma câmara de descarga, de onde o vapor é descarregado para o condensador. Na figura 8, temos a imagem em corte de um compressor centrífugo, sendo que a parte marcada de azul representa o compressor e a parte de vermelho representa a turbina que aciona o compressor (DOSSAT, 1973).



**Figura 8: Compressor Centrífugo**

**Fonte: Academic, 2015.**

### 3.3 Condensador

O condensador é uma superfície de transmissão de calor. A rejeição total de calor no condensador inclui tanto a absorção de calor no evaporador como a potência equivalente do trabalho de compressão. O calor do fluido refrigerante quente passa através das paredes do condensador para o meio de condensação. Como resultado de calor perdido para o meio de condensação, o fluido refrigerante é primeiro resfriado ao ponto de saturação e então condensado no estado líquido. Embora se use salmoura ou refrigerantes de expansão direta, algumas vezes como meio de condensação em aplicações de temperatura baixa, na maior parte dos casos o meio de condensação empregado é ar ou água, ou uma combinação de ambos. Os condensadores são de três tipos gerais: resfriado a ar, resfriado à água e evaporativo.

Os condensadores a ar empregam ar como meio de condensação. Os condensadores resfriados à água utilizam água para condensar o fluido refrigerante. Em ambos o calor cedido pelo fluido refrigerante de condensação aumenta a temperatura do ar ou água usado como meio de condensação. Os condensadores evaporativos empregam tanto o ar como a água. Mesmo havendo a elevação na temperatura do ar que passa através do condensador, a condensação do fluido refrigerante no condensador resulta principalmente da evaporação da água pulverizada sobre o condensador. A função do ar é aumentar a taxa de evaporação retirando o vapor de água que dá a evaporação. Na figura 10 temos a imagem de um condensador à água (DOSSAT, 1973).

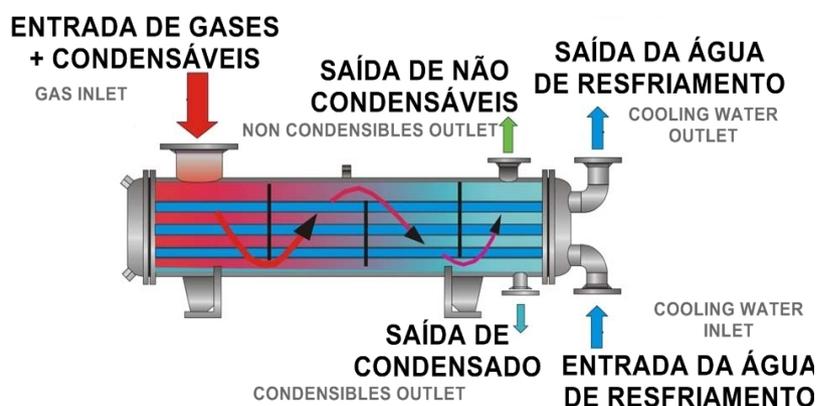


Figura 10: Condensador Resfriado à Água

Fonte: Torr – Engenharia, 2015.

### 3.4 Controle de Fluxo do Fluido Refrigerante no Sistema

Existem seis tipos básicos de controle de fluxo de um fluido refrigerante: válvula de expansão manual; expansão automática; expansão termostática; tubo capilar; bóia de baixa pressão e bóia de alta pressão. Nesse estudo vamos falar sobre três tipos:

- Válvula Expansão Manual;
- Válvula Expansão Automática;
- Válvula Expansão Termostática.

Na figura 11 temos a imagem de uma válvula de expansão em corte e suas características.

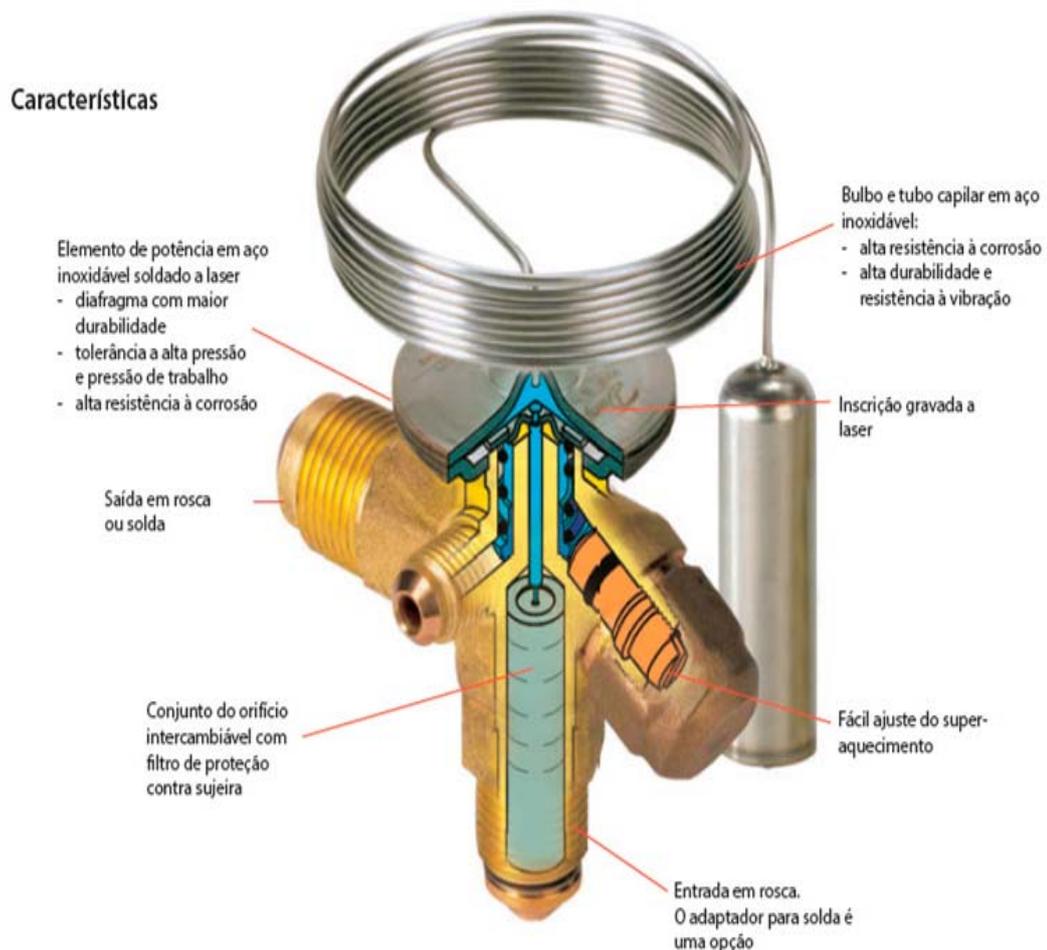


Figura 11: Válvula de Expansão e suas Características

Fonte: Static, 2015.

### **3.4.1 Válvula de Expansão Manual**

São válvulas de agulha acionadas à mão. A taxa de fluxo de líquido através da válvula depende do diferencial da pressão através do orifício da válvula e do grau de abertura, sendo o último ajustável manualmente. Considerando que o diferencial da pressão através da válvula permanece o mesmo, a taxa de fluxo, por intermédio de uma válvula de expansão sempre permanecerá constante, sem importar a pressão ou a carga do evaporador. A sua principal desvantagem é ser inflexível às mudanças de carga do sistema e deve ser reajustada manualmente cada vez que a carga do sistema muda, para evitar falta de lubrificação ou sobrealimentação do evaporador e também deve ser aberta e fechada manualmente toda vez que o compressor é ligado ou desligado. Sua aplicação é apropriada para sistemas grandes nos quais se trabalha um operador e a carga do sistema é constante (DOSSAT, 1973).

### **3.4.2 Válvula de Expansão Automática**

A válvula de expansão automática consiste de agulha e assento, fole ou diafragma de pressão, mola, sendo a tensão da mola variável por meio de um parafuso regulador. É instalado um filtro na entrada de líquido da válvula para evitar a entrada de materiais estranhos que podem causar o entupimento da válvula. Seu funcionamento é para manter uma pressão constante no evaporador. A tensão da mola é ajustada para a pressão desejada no evaporador. A válvula opera automaticamente para regular o fluxo de refrigerante líquido dentro do evaporador de modo que a pressão desejada do evaporador é mantida, independente de sua carga. As características de operação da válvula são tais que fechará suavemente quando o ciclo do compressor for desligado e permanecerá fechada até que o ciclo seja ligado outra vez. Sua principal desvantagem é sua eficiência relativamente pobre quando comparada à dos outros controles de fluxo de fluido refrigerante (DOSSAT, 1973).

### 3.4.3 Válvula de Expansão Termostática

Pela sua alta eficiência e sua pronta adaptação a qualquer tipo de aplicação na refrigeração, a válvula de expansão termostática é provavelmente o controle de fluido refrigerante mais usado atualmente. Sua operação é baseada em manter um grau constante de superaquecimento de sucção na saída do evaporador, uma circunstância que permite ao último controle conservar o evaporador completamente cheio com fluido refrigerante sob todas as condições de carregamento do sistema sem o perigo de transbordamento de líquido dentro da linha de sucção. Por sua capacidade em oferecer aplicação plena e efetiva de toda a superfície do evaporador sob todas as condições de carga, a válvula termostática é particularmente um controle de fluido refrigerante adequado para sistemas que estão sujeitos à largas e frequentes variações na carga. Como na válvula expansora automática é instalado um filtro na entrada de líquido para evitar a entrada de material estranho que possa causar entupimento da válvula, sua operação resulta da ação recíproca de três forças independentes, que são: a pressão do evaporador; a pressão da mola e a pressão exercida pela mistura do líquido – vapor saturado no bulbo remoto. O bulbo remoto é firmemente preso à linha de sucção na saída do evaporador, onde ele é sensível a mudanças na temperatura do fluido refrigerante nesse ponto. Embora exista um leve diferencial de temperatura entre a temperatura do fluido refrigerante na linha de sucção e a temperatura na mistura saturada de líquido e vapor no bulbo remoto, para todos os fins práticos a temperatura dos dois é a mesma. Portanto pode se considerar que a pressão exercida pelo fluido no bulbo é sempre a pressão de saturação da mistura líquido – vapor no bulbo, correspondente à temperatura do vapor na linha de sucção no ponto de contato do bulbo (DOSSAT, 1973).

### 3.5 Evaporador

É qualquer superfície de transmissão de calor na qual o líquido volátil é vaporizado com o objetivo de remover calor de um espaço ou produto refrigerado. Devido às diversas aplicações de refrigeração mecânica, os evaporadores são fabricados em grande variedade de tipos, formas, tamanhos e projetos. Podem ser classificados de diferentes modos, tais como seu tipo de construção, método de alimentação dos líquidos, condição de operação, método de circulação de ar ou líquido, tipo de controle de refrigerante e aplicação. Os principais tipos de construção de evaporadores são: tubo liso; evaporador de placa e com aletas. Os de tubo liso e de placa são algumas vezes classificados junto com os evaporadores de superfície primária, nos quais a superfície inteira de ambos os tipos está mais ou menos em contato com o fluido refrigerante vaporizado no seu interior. Nos evaporadores com aletas, os tubos que transportam o fluido refrigerante são as únicas superfícies primárias. As próprias aletas não são carregadas com o fluido refrigerante e por isso são somente superfícies de transmissão de calor secundário, cuja função é captar calor do ar ambiente e conduzi-lo para os tubos que transportam o fluido refrigerante. Mesmo que os evaporadores de superfície primária de ambos os tipos (tubo liso e placa), prestem serviço satisfatório numa larga variedade de aplicações, operando em qualquer faixa de temperatura. São mais utilizados para aplicação de resfriamento de líquido e aplicações de refrigeração de ar, em que a temperatura do espaço é mantida abaixo de 1°C e o acúmulo de gelo na superfície do evaporador não pode ser facilmente evitado. No evaporador de superfície primária o acúmulo de gelo não afeta tanto a capacidade do evaporador como afeta as serpentinas de aletas. A maioria dos evaporadores de superfície primária é do tipo de placa, são facilmente limpas e podem ser descongeladas manualmente escovando ou raspando o gelo acumulado. Isto pode ser feito sem a necessidade de parar o processo de refrigeração e sem colocar em risco a qualidade do produto que está sendo refrigerado (DOSSAT, 1973).

### 3.6 Geração da Água Através do Resfriamento do Ar

Após estudarmos todos os componentes de um sistema de condicionamento de ar, vamos estudar como é gerada a água que se obtém durante o condicionamento do ar. No sistema de ar condicionado central de uma embarcação, o ar que vai fazer o condicionamento do ar dos ambientes da superestrutura é admitido do meio externo através de um ventilador. Quando o ar é admitido do meio externo pelo ventilador ele carrega consigo toda umidade contida no ambiente (vapores de água). O ar admitido passa entre os tubos do condensador e troca calor com o fluido refrigerante que circula dentro dos tubos. Quando o ar choca-se com os tubos do condensador, estando o ar com temperatura elevada e o fluido refrigerante no interior dos tubos com temperatura baixa, ocorre o ponto de orvalho. Todos os vapores de água contido no ar são condensados e retidos na parede dos tubos, até adquirir a forma de gotas de água que se desprendem e são atraídas para o fundo do condensador. O ar sendo mais leve segue pelos dutos para refrigerar os ambientes da superestrutura, e a água que se depositou no fundo do condensador é drenada para o tanque de esgoto e descartada como resíduo. Na figura 11 temos o esquema de um sistema de refrigeração, em que se mostra a geração da água durante o resfriamento do ar e seu reaproveitamento (DOSSAT, 1973; STOECKER, 2002).

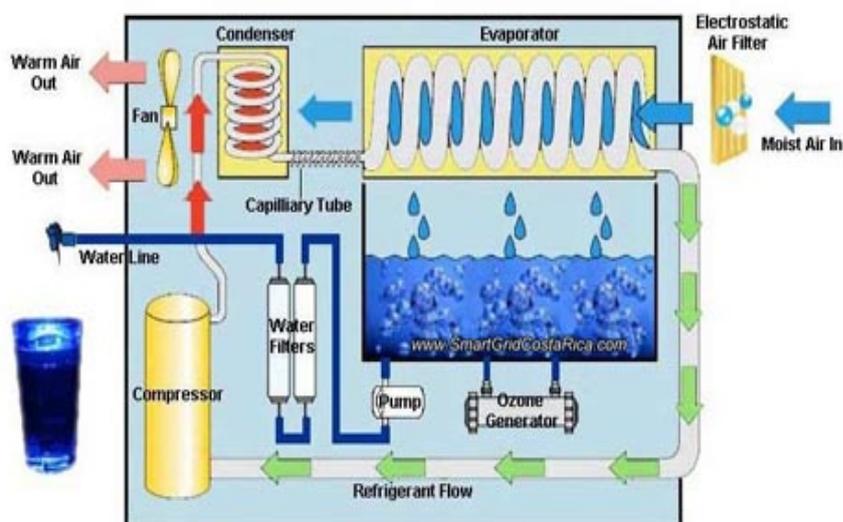


Figura 12: Geração de Água durante o Resfriamento do Ar

Fonte: Elviento, 2015.

#### **4. Aplicação da Água**

Assim como nas cidades a água é essencial para o consumo humano, a bordo das embarcações não seria diferente, pois além do uso da água para consumo humano necessitamos de água para manter em funcionamento os sistemas e equipamentos da embarcação, além da limpeza da mesma. Para manter a embarcação operando em perfeitas condições, a água é essencial para alguns sistemas da praça de máquinas. Vamos estudar nesse item apenas dois sistemas: alimentação da caldeira auxiliar e os sistemas de água de alta e baixa temperatura. A caldeira auxiliar é responsável por gerar vapor para o aquecimento dos sistemas de óleo combustível, funcionamento de máquinas a vapor, aquecimento de tanques, etc.. Para geração do vapor é necessária uma alimentação de água; essa água deve ser de baixa concentração de sais minerais, para não causar incrustações nas tubulações e no interior da caldeira. A água gerada pelos sistemas mencionados nos itens 2.4 e 3.6 é de baixa concentração de sais minerais, o que a torna ideal para ser usada na alimentação da caldeira. O sistema de água de alta temperatura tem a função de fazer o arrefecimento das camisas do motor principal e depois troca calor com a água do sistema de baixa temperatura. O sistema de água de baixa temperatura, além de fazer o arrefecimento da água de camisas do motor principal, também é responsável pelo arrefecimento dos sistemas de: óleo lubrificante, bicos injetores, ar de lavagem, motores auxiliares, compressores de ar principal, ar de controle, sistema frigorífico e ar condicionado central. Enquanto percorre o sistema, uma parte da água é perdida por meio de vazamentos em redes, flanges ou juntas danificadas, se fazendo necessária sua reposição para o bom funcionamento do sistema. Assim como a caldeira, os sistemas de água de alta e baixa temperatura necessitam de uma água com baixa concentração de sais minerais para não causar incrustações no sistema. Essas incrustações causam a redução da eficiência do sistema, sendo necessária à troca das redes. Por conter baixa concentração de sais minerais, a água gerada nos itens 2.4 e 3.6 pode ser utilizada para repor as perdas do sistema. Além dessas aplicações ainda podemos citar seu uso para limpeza na praça de máquinas e no convés da embarcação.

## **5. Conclusão**

O problema da falta de água doce no planeta Terra é estudado por organizações governamentais e não governamentais há muito tempo e exposto para todos pelos meios de comunicação. Pouco se tem feito para evitar a falta desse bem tão precioso e vital para a existência da vida humana no planeta Terra. O que se observa é um descaso tanto da população como do poder público. Segundo estudos, a maior parte da água tratada se perde antes de chegar às casas, por meio de vazamentos em redes, roubo de água e uso de forma inconsciente pela população como se fosse uma fonte inesgotável. Nas embarcações não é diferente, já que, em sua maioria, os tripulantes não valorizam a água e não procuram ser conscientes ao usá-la. Atitudes simples como não deixar a torneira da pia aberta enquanto se escova os dentes, fechar o chuveiro enquanto se ensaboa e lavar roupa uma vez por semana ou a cada quinze dias, faria gerar uma grande economia de água a bordo. Outra atitude é prestar atenção aos sistemas que geram água como resíduo do seu processo. Como o próprio nome já diz, é resíduo, e tudo que é resíduo é descartado como lixo e nunca se tem a devida atenção. Essa água limpa, porém não aplicada para consumo humano pela sua falta de sais minerais, pode ser aplicada em vários sistemas da embarcação como mencionado no item quatro dessa monografia. Com o reaproveitamento dessa água se dá um destino sustentável para esse resíduo que mesmo sendo um resíduo bom e com aplicação prática é sempre descartado. Com isso se conclui que ao consumir um litro dessa água a bordo um litro de água deixa de ser consumido da natureza, e somando pela quantidade diária que se consome em uma embarcação, falamos de metros cúbicos ao dia de água que seriam poupados da natureza. Esse tipo de atitude também pode ser tomado nas cidades, e com isso o meio ambiente agradece e se resguarda para as atuais e futuras gerações, com seus recursos naturais preservados e disponíveis quando forem necessários.

## 6. Referências Bibliográficas

DOSSAT, Roy J.. **Princípios de Refrigeração**. Teoria, Prática, Exemplos, Problemas e Soluções. 1ª Edição. Editora Hemus, 1973.

ROCHA, Gerônimo de Albuquerque; et al. **Recursos Hídricos**. Cadernos de Educação Ambiental. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Meio Ambiente. Coordenadoria de Educação Ambiental. São Paulo, 2011.

RODRIGUES, Ribeiro Gelmirez. **Máquinas de Combustão Interna**. Módulo 6 – Rio de Janeiro. 2000.

SILVA, João Emílio C.. **Tecnologia Marítima, Máquinas e Instalações dos Navios**. Escola Náutica Infante D. Henrique. Parte 2, 2007.

VARELLA, Carlos Alberto Alves; Santos, Gilmar de Souza. **Noções Básicas de Motores Diesel**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1ª Edição, 2010.

STOECKER, W.F.; Jabardo Saiz J. M. **Refrigeração Industrial**. 2ª Edição – São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2002.

<http://www.guiageografico.net/terra/mundo.htm>. Acesso em 10 de abril de 2015 às 07h30min.

[http://www.dieselduck.info/historical/01%20diesel%20engine/prime\\_move\\_rs.html#.VWEKltJViko](http://www.dieselduck.info/historical/01%20diesel%20engine/prime_move_rs.html#.VWEKltJViko). Acessado em 23 de maio de 2015 às 20h20min.

<http://flatoutcombr.c.presscdn.com/wp-content/uploads/2014/07/como-funciona-turbo.jpg>. Acessado dia 10 de abril de 2015 às 08h05min.

[http://www.pneumatikonline.com.br/linha\\_de\\_ar\\_comprimido.html](http://www.pneumatikonline.com.br/linha_de_ar_comprimido.html). Acessado em 25 de maio de 2015 às 21h50min.

<http://www.refrimaq.org/ref> acessado em 04 de junho de 2015 às 15h00min.

<http://fscurtisbrasil.commercesuite.com.br/compressor-de-ar-pistao-fs-curtis-modelo-hta-100h-pr-54-357907.htm>. acessado dia 04 de junho de 2015 às 22h00min.

<http://www.achecompressores.com.br/Compressores-Construcao-Civil-Industria/como-funciona-os-compressores-imagem.gif> acessado em 04 de junho de 2015 às 22h30min.

<http://en.academic.ru/pictures/enwiki/84/Turbocharger.jpg> acessado em 04 de junho de 2015 às 21h50min.

<http://www.torr-engenharia.com.br/wp-content/uploads/2011/05/COND-SUPERFICIE.jpg> acessado 04 de junho de 2015 às 22h55min.

[http://www.static.2rscms.com.br/custom/316/uploads/valvula\\_expansao\\_capital\\_refrigeracao.jpg](http://www.static.2rscms.com.br/custom/316/uploads/valvula_expansao_capital_refrigeracao.jpg) acessado em 04 de junho de 2015 às 23h40min.

<http://www.querespondaelviento.com.ar/files/Per%C3%BA-Generador-Extractor-Agua-del-Aire-Atm%C3%B3sfera-Smart-Grid-Featured-12.jpg> acessado em 04 de junho de 2015 às 23h50min.