

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA NAVAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA NAVAL

FLÁVIO SOUZA DE MORAES

**PROJETO CONCEITUAL DO LABORATÓRIO DE MÁQUINAS
MARÍTIMAS DA UFPE**

RECIFE, 2015

FLÁVIO SOUZA DE MOARES

**PROJETO CONCEITUAL DO LABORATÓRIO DE MÁQUINAS
MARÍTIMAS DA UFPE**

Dissertação apresentada ao Curso de Bacharelado em Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval.

ORIENTADOR: JOSÉ CLAUDINO DE LIRA JÚNIOR

RECIFE, 2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

Projeto Conceitual do Laboratório de Máquinas Marítimas da UFPE

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco pelo aluno Flávio Souza de Moraes, sob a orientação do Professor José Claudino Lira Júnior como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval.

Data da Aprovação: __/__/__

BANCA EXAMINADORA:

1°. Avaliador(a):

2°. Avaliador(a):

3°. Avaliador(a):

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades no caminho que me levou até aqui.

Aos meus pais, meus avós, tios, tias e ao meu irmão os quais sempre me apoiaram em todos os sentidos para realização dos meus sonhos e sem seu suporte não teria chegado até onde estou hoje.

Ao Prof. Claudino, que me ajudou em todas as etapas do desenvolvimento deste trabalho, incentivando e tirando dúvidas que surgiram durante o processo de realização do trabalho.

A todos os professores que me acompanharam até este momento, os quais fizeram o melhor possível para contribuir na minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) pelo apoio financeiro dado por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás (PRH-ANP/MCT), bem como da Petrobras.

RESUMO

Neste trabalho foi feito um projeto conceitual para implantação do Laboratório de Máquina Marítimas (LMM) do curso de engenharia naval da UFPE. O LMM irá atender não só as disciplinas da área de máquinas, mas também promoverá o desenvolvimento de pesquisa, formando profissionais mais capacitados e com um conhecimento aplicado mais sólido na área de máquinas. Para a realização desse projeto foi feita a escolha de um motor diesel e a partir de uma visão geral dos sistemas auxiliares de uma praça de máquinas foram definidos quais os sistemas estarão presentes no laboratório. Ao final teremos um fluxograma geral do laboratório, com os principais equipamentos deste dimensionados e algumas ideias de atividades a serem desenvolvidas no LMM.

Palavras-Chave: Laboratório de Máquinas Marítimas, Projeto Conceitual, Praça de Máquinas, Engenharia Naval, Sistemas Auxiliares.

ABSTRACT

In this work it was done a conceptual project for the implantation of the Laboratory of Maritime Machines (LMM) from the UFPE. The LMM will not answer just the demands from the subjects of the area of Maritime Machines, but it will also promote the development of research, making the professionals more capacitated and with knowledge more solid in the area. To make this project it was chosen a diesel engine and from a general view from the auxiliaries systems of an engine room it was decided the main components of the laboratory that will keep the engine working. By the end of this work, we will have an engineering flowchart from the laboratory and the indications for the main components from each system of the LMM.

Keywords: Laboratory of Maritime Machines, Conceptual Project, Engine Room, Naval Engineering, Auxiliary Systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistemas auxiliares do motor	17
Figura 2 - Arranjo propulsivo de motores usados para propulsão e geração de energia.....	19
Figura 3 - Motor MAN B&W Holeby L16/24 de 440 kW.....	21
Figura 4 - Motor Caterpillar 3508 de 750 kW.....	21
Figura 5 - Vista em corte do LME.....	22
Figura 6 - Sala de testes do LME	22
Figura 7 - Esquema do sistema propulsivo.....	25
Figura 8 - Exemplo de um sistema de resfriamento do motor	28
Figura 9 - Evaporador da Alfa Laval.....	29
Figura 10 - Esquema do sistema de lubrificação de um motor	30
Figura 11 - Esquema do sistema de óleo combustível leve de uma embarcação	32
Figura 12 - Esquema do sistema de óleo combustível pesado de uma embarcação.....	32
Figura 13 - Atomizador Aalborg KBSD da Alfa Laval	36
Figura 14 - Caldeira aquotubular da Alfa Laval.....	37
Figura 15 - Caldeira flamotubular da Alfa Laval	37
Figura 16 - Esquema de uma máquina do leme hidráulica.....	39
Figura 17 - Fluxograma do laboratório	41
Figura 18 - Fotos do Wartsila 20.....	42
Figura 19 - Filtro indicado para o sistema de combustível do laboratório.....	44
Figura 20 - Tanque de armazenamento de combustível com 1000 litros.....	45
Figura 21 - Bomba de carregamento do laboratório.....	45
Figura 22 - Tanque de armazenamento de óleo diesel com bacia de contenção.....	47
Figura 23 - Localização do tanque de armazenamento em ralação ao laboratório.....	47
Figura 24 - Separador Água e óleo SPR 800 da Alpina	48
Figura 25 - Esquema do sistema de combustível	48
Figura 26 - Unidade de separação P-626 da Alfa Laval.....	50
Figura 27 - Esquema do Sistema de óleo lubrificante do laboratório	50
Figura 28 - Compressor LT 3-30 Khe da Atlas.....	51
Figura 29 - Sistema de arrefecimento do motor do laboratório.....	54
Figura 30 - Esquema de temperaturas dos trocadores de calor do laboratório.....	55

Figura 31 - Trocador de calor AlfaNova HP 76	58
Figura 32 - Trocador de calor desmontável FR 19 da Alpema	59
Figura 33 - Torre de resfriamento ADC - 80 da Adecl'air	60
Figura 34 - Figura ilustrativa da linha Megabloco da KSB.....	60
Figura 35 - Sistema interno de exaustão.....	64
Figura 36 - Elementos do sistema de exaustão do Wartsila 20	65
Figura 37 - Esquema para identificação dos diâmetros dos dutos de exaustão.....	66
Figura 38 - Recuperador Aalborg Micro da Alfa Laval	67
Figura 39 - Fluxograma final do laboratório	70
Figura 40 - Bancada didática de trocadores de calor.....	71
Figura 41 - Bancada didática para ensaios de bombas	72
Figura 42 - Posicionamento da sala de controle do laboratório	75
Figura 43 - Perda percentual por radiação do motor (U_d) em função da potência do motor....	80
Figura 44 - Calor emitido pelos dutos de exaustão dos gases de descarga	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumos dos principais sistemas auxiliares de uma embarcação	24
Tabela 2 - Características principais do Wartsila 20	42
Tabela 3 - Especificações do MDF e do HFO	42
Tabela 4 - Especificações da bomba de carregamento	45
Tabela 5 - Especificações da bomba de combustível acionada pelo motor	45
Tabela 6 - Capacidade dos tanques do laboratório	46
Tabela 7 - Características da água usada para arrefecer o motor	52
Tabela 8 - Especificações da bomba acionada pelo motor	54
Tabela 9 - Características do trocador de calor AlfaNova HP 76	57
Tabela 10 - Especificações dos ventiladores do laboratório.....	63
Tabela 11 - Diâmetro de dutos para exaustão dos gases do motor.....	66
Tabela 12 - Principais tópicos abordados nas disciplinas de máquinas marítimas	68
Tabela 13 - Especificações dos equipamentos da bancada.....	71
Tabela 14 - Especificações dos equipamentos da bancada.....	72
Tabela 15 - Tabela do Guia Técnico do Wartsila 20 de 4 cilindros	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABS** – American Bureau of Shipping;
- AT** – Alta Temperatura;
- BT** – Baixa Temperatura;
- HFO** – Heavy Oil Fuel;
- LMM** – Laboratório de Máquinas Marítimas;
- LME** – Laboratory of Marine Engineering;
- GNL** – Gás Natural Líquido;
- MCA** – Motor de Combustão Auxiliar;
- MCP** – Motor de Combustão Principal;
- MDF** – Marine Diesel Fuel;
- P&D** – Planejamento e Desenvolvimento;
- OTAM** – Organização Técnica de Assistência e Manutenção;
- SAO** – Separador Água e Óleo;
- S&P** – Soler & Palau;
- UFPE** – Universidade Federal de Pernambuco;
- UFRJ** – Universidade Federal do Rio de Janeiro;
- USP** – Universidade de São Paulo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS	13
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3	SISTEMAS DA PRAÇA DE MÁQUINAS.....	24
3.1	SISTEMA PROPULSIVO.....	25
3.2	SISTEMA DE ÁGUA DE ARREFECIMENTO.....	26
3.3	SISTEMA DE ÁGUA DOCE.....	28
3.4	SISTEMA DE ÓLEO LUBRIFICANTE	29
3.5	SISTEMA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL.....	31
3.6	SISTEMA DE ÁGUA DE LASTRO.....	32
3.7	SISTEMA DE ÁGUA DE BALDEAÇÃO E INCÊNDIO.....	33
3.8	SISTEMA DE AR DE PARTIDA.....	34
3.9	SISTEMA DE VENTILAÇÃO E AR DE COMBUSTÃO.....	34
3.10	SISTEMA DE ESGOTO.....	35
3.11	SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR	36
3.12	SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	38
3.13	SISTEMA DE GOVERNO.....	38
4	LABORATÓRIO DE MÁQUINAS DA UFPE.....	40
4.1	MOTOR DIESEL	41
4.2	SISTEMA DE COMBUSTÍVEL.....	42
4.3	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO	49

4.4	SISTEMA DE AR COMPRIMIDO	51
4.5	SISTEMA DE ÁGUA PARA REFRIGERAÇÃO	52
4.6	SISTEMA DE AR DE COMBUSTÃO E DE VENTILAÇÃO	61
4.7	SISTEMA DE EXAUSTÃO	64
5	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO LABORATÓRIO	68
6	CONCLUSÃO	74
6.1	TRABALHOS FUTUROS	75
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	76
	ANEXO A - Tabelas do Guia de Produto do Wartsila 20.....	79
	ANEXO B - Gráficos do Anexo da NBR 8807.....	80

1 INTRODUÇÃO

Todos os cursos universitários existem para dar uma formação teórica e prática ao estudante suprimindo certa demanda da sociedade. Engenheiros são formados para aplicar da melhor forma os conhecimentos científicos adquiridos na universidade atendendo a demanda da sociedade por desenvolvimento. Esses profissionais podem atuar de maneira direta ou indireta na indústria, movimentando de certa forma a economia de um país.

Por ser um curso recém-formado, o curso de engenharia naval da UFPE enfrenta os mesmos problemas que todos os cursos novos encontram. Esses podem ser exemplificados com a adequação contínua da carga horária de disciplinas do curso, e com a falta de laboratórios para o ensino e o desenvolvimento de pesquisa.

Existem várias etapas para o desenvolvimento de um projeto, as quais ajudam o projetista a trabalhar de uma maneira sistemática tentando sempre refinar cada vez mais a atividade em desenvolvimento.

Basicamente temos três etapas em um projeto, o projeto conceitual, o básico e o de detalhamento. Na primeira etapa desenvolvemos um esboço inicial do projeto, através de estimativas iniciais, muitas vezes baseadas em normas ou na experiência do profissional, ou também em fatores econômicos e ambientais. Nesta etapa definimos sua finalidade, sempre refinando cada vez mais dados e estimativas feitas.

Na segunda etapa temos a geração de documentos importantes para o cliente que o projeto está sendo desenvolvido e que serão usados na próxima etapa do projeto. Nesta etapa são elaborados memoriais descritivos, memoriais de cálculo, listas de materiais, fluxogramas, plantas, desenhos, e outras documentações dependendo do que está sendo projetado.

Na terceira etapa o projeto básico é destrinchado para a construção. É nesta que são gerados desenhos e processos mais detalhados para construção, são feitas listas para materiais e equipamentos para compra, e cronogramas referentes a todo o processo construtivo. É importante sempre pensar no espaço físico onde será executado o projeto para que eventuais problemas possam ser contornados antes da produção.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho visa fazer um projeto conceitual para implantação do Laboratório de Máquinas Marítimas (LMM) do curso de engenharia naval da UFPE, o qual dará suporte para

as disciplinas da área de máquinas do curso, através de aulas práticas e experimentais, além de promover o desenvolvimento de pesquisa na área.

A partir desse trabalho serão identificadas as principais necessidades do laboratório para assim continuar o desenvolvimento das outras etapas do projeto, viabilizando sua implantação através da submissão em órgãos de fomento e parcerias com empresas fornecedoras de equipamentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Podemos dizer que é uma responsabilidade do engenheiro naval o dimensionamento dos equipamentos e o projeto do layout de uma praça de máquinas de uma embarcação. Portanto, é importante para esses profissionais o conhecimento dos equipamentos e diversos sistemas que existem nesses espaços.

Aulas práticas em laboratórios são ferramentas muito poderosas na aprendizagem de conteúdos teóricos abordados em sala de aula, pois elas tornam os assuntos vistos mais interessantes e mais fáceis de assimilar por parte dos alunos. Além disso, disciplinas com certa carga horária em laboratórios podem despertar o interesse do aluno na área, incentivando o desenvolvimento de trabalhos e pesquisas na área, itens importantes para um curso recém-formado.

É nesse contexto que podemos justificar a necessidade do Laboratório de Máquinas Marítimas da UFPE, e assim justificar também a relevância do tema deste projeto tanto no âmbito acadêmico, com o desenvolvimento de pesquisa e aulas práticas, como no âmbito profissional, com a formação de profissionais com uma visão mais prática na área de máquinas.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Todo o trabalho será dividido em seis capítulos, no capítulo 2, “Revisão Bibliográfica”, apresentará uma revisão bibliográfica apresentando uma análise de laboratórios de máquinas em outras instituições, artigos que abordam a temática e conceitos teóricos fundamentais para o aprendizado das disciplinas da área de máquinas.

Depois, no capítulo 3, será feito um descritivo das principais máquinas e sistemas presentes numa praça de máquinas de um navio. O capítulo 4 descreverá as principais máquinas que devem existir no laboratório.

O capítulo 5 irá conter algumas atividades que poderão ser realizadas no laboratório para o complemento das atividades teóricas abordadas pelas disciplinas de máquinas. Por fim, serão tiradas as principais conclusões e discutidos trabalhos futuros que poderão ser realizados após a implantação do laboratório.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Woud e Stapersma (2002) o navio pode ser visto como um conjunto de sistemas cada uma com sua função. Tais sistemas atuam juntos de maneira a desempenhar uma missão, por exemplo, levar uma quantidade de carga de um porto A para um porto B em um determinado intervalo de tempo. Muitos desses sistemas atuam de maneira integrada, como é o caso do sistema de combustível, o qual alimenta não somente o sistema propulsivo como também o sistema de geração de energia.

Às vezes, podemos dividir esses sistemas em subsistemas, por exemplo, dentro do sistema de óleo combustível temos o sistema de óleo combustível pesado (HFO – Heavy Fuel Oil) usado quando o navio está navegando em alto mar e o sistema de óleo combustível leve (Marine Diesel) usado na partida do motor ou durante uma manobra.

Cada sistema do navio é formado por uma série de componentes, o sistema propulsivo, por exemplo, possui o motor, os eixos, mancais e o propulsor como principais componentes, eles em conjunto desempenham a função de propelir o navio.

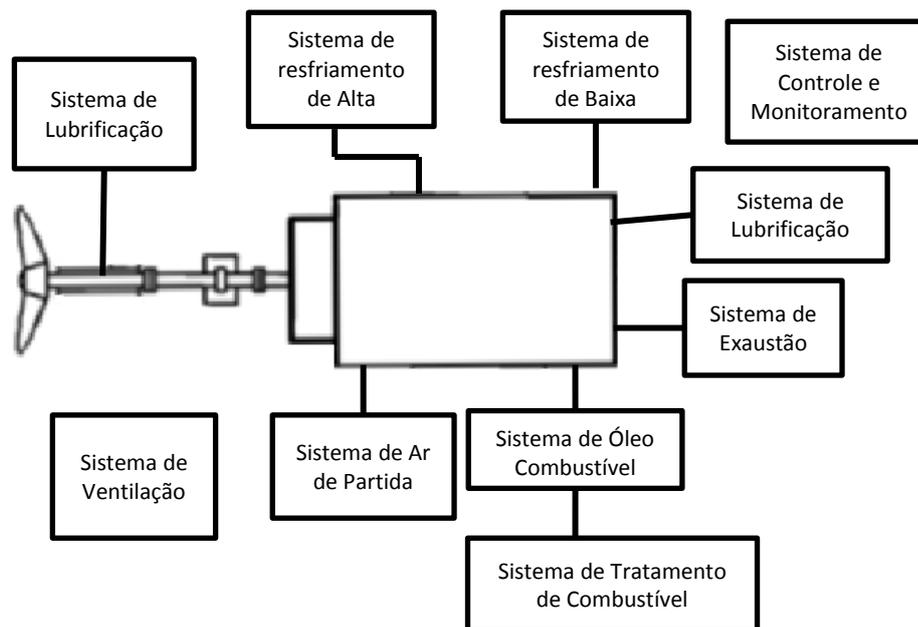
Woud e Stapersma (2002) ainda afirmam que é importante para o engenheiro naval, profissão a qual é dividida entre *Marine Engineers* e *Naval Architectures* em outros países, conhecer componentes para integrá-los em sistemas para que esses possam assim desempenhar certa função.

No trabalho de Silva (2007) e no de Brinati (2012) podemos ter uma ideia dos principais sistemas de uma embarcação, ele cita componentes desses sistemas e através de fluxogramas de processos explica o funcionamento de cada um.

Um importante sistema do navio é o de propulsão, pois sem ele a embarcação não seria capaz de realizar sua missão, transporta a carga que carrega. Os demais sistemas, chamados de sistemas auxiliares, não possuem menos importância, pelo contrário, eles fazem parte de um todo e sem a integração entre todos eles o navio não seria capaz de desempenhar sua atividade satisfatoriamente.

Na Figura 1, presente na obra de Woud e Stapersma (2002), podemos ver essa ideia de integração entre os sistemas auxiliares e o sistema propulsivo.

Figura 1 – Sistemas auxiliares do motor



Fonte: Adaptado de Woud e Stapersma (2002)

O “coração” do sistema propulsivo é o motor principal, este como pode ser visto em Molland (2008), podem ser de vários tipos, tamanhos e apresentar as mais diversas configurações (um motor acionando dois eixos, dois motores acionando um eixo cada, motores diretamente acoplados, etc.), essas características irão mudar de acordo com o tipo do navio, tamanho e com a inovação do projetista.

O motor diesel é o motor mais usado para propulsão de embarcações, esse pode ser de baixa, média e alta rotação. Os motores de baixa rotação são os mais usados na propulsão de navios tanques, porta contêineres e graneleiros.

Molland (2008) aponta que o motivo do uso dominante dos motores de baixa rotação no mercado, vem do constante investimento das empresas do setor (MAN B&W Diesel, Wärtsilä e Mitsubishi) em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento). Como resultado deste investimento pode-se destacar o desenvolvimento de motores cada vez mais automatizados, chamados pelo autor de motores inteligentes, esses fazem medições de parâmetros importantes do motor que afetam o seu desempenho e os mudam de maneira a tentar obter o melhor desempenho para uma determinada carga a qual o motor é solicitado.

Assim como Molland (2008), Kyrtatos (2001) cita em seu artigo que seguindo os passos da indústria automotiva, os desenvolvedores de motores marítimos irão cada vez mais investir no controle dos mais diversos parâmetros envolvidos no funcionamento do motor. Parâmetros como o controle eletrônico de válvulas de exaustão, tempo de injeção,

lubrificação do cilindro, entrada de ar, resfriamento do ar de combustão e restrições de emissões, segundo o autor, já são consideradas preocupações para os desenvolvedores de motores marítimos, porém a otimização destes sistemas de controles deve ser um processo de melhoria contínua onde precisamos levar em conta as mais diversas condições de operações que uma embarcação é imposta (condições climáticas severas, manobra de parada brusca, por exemplo).

É interessante para o engenheiro naval o conhecer como mudanças nos parâmetros controlados por esses sistemas podem melhorar a eficiência propulsiva da embarcação e também ter ideia dos avanços tecnológicos na área de motores de combustão interna para navios.

Voltando a descrição de Molland (2008) sobre motores, os motores de média rotação são mais usados para propulsão de pequenos navios de carga, navios Ro-Ro¹, cruzeiros e navios de suporte offshore. Além da propulsão esses motores são a opção mais usual para geração de energia em uma embarcação. Já o uso dos motores de alta rotação é feito em sistemas propulsivos de pequenos navios de alto desempenho, navios militares, por exemplo, ou como gerador auxiliar de embarcações.

Os motores a diesel podem ser utilizados diretamente acoplados ao eixo propulsor ou podem ser acoplados a uma caixa redutora. Porém, uma alternativa usada são os motores elétricos, os quais recebem energia de diesel-geradores alocados dentro do navio, esse sistema de propulsão recebe o nome de diesel-elétrico.

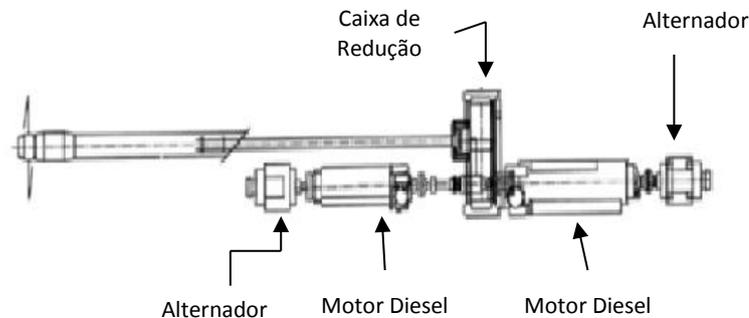
De acordo com Molland (2008), o uso de motores elétricos permite a compactação da praça de máquinas facilitando a sua modularização, visto que o motor diesel não precisa ficar perto do eixo propulsor. Esse tipo de planta permite uma redução na poluição sonora e vibração da praça de máquinas, características importantes para navios de passageiros, navios de pesquisa e navios de guerra. Nesses tipos de embarcações também existe uma demanda muito alta por energia elétrica para outros serviços além do sistema propulsivo, esse fato ajuda na popularização do sistema de propulsão diesel-elétrico nesses tipos de embarcações.

Em adição a estes sistemas de propulsão, podemos ter também a combinação de motores diesel-elétricos e motores a diesel acoplados ao eixo de propulsão. Essa alternativa é usada em navios de suporte a atividades offshore, os quais precisam de potência para manter a embarcação na velocidade de serviço e energia suficiente para alimentar os equipamentos a bordo e os azimutais, usados para manobra e posicionamento dinâmico. Para isso, de acordo com Molland (2008), esses navios podem utilizar dois motores ligados a uma caixa de

Navios Ro-Ro¹: Navios utilizados para transporte de veículos, esses são vão a bordo utilizando o próprio motor daí a origem do nome vindo do termo em inglês *Roll-on-Roll-off*, abreviado de Ro-Ro.

redução, onde cada um irá gerar energia através de alternadores também acoplados a esses motores. Esse tipo de arranjo propulsivo pode ser visto na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Arranjo propulsivo de motores usados para propulsão e geração de energia



Fonte: Adaptado de Molland (2008)

Os arranjos propulsivos citados anteriormente podem ser considerados os mais usuais para navios mercantes, mas outro sistema de propulsão o qual pode ser adotado pelo projetista é o uso de turbinas a gás ou a vapor.

Turbinas a gás trazem vantagens como: redução de ruídos e vibrações, ser compacto, moderados custos de manutenção e facilidade de instalação. Por essas características Molland destaca que esse sistema vem sendo utilizado em navios cruzeiros, navios de guerra e navios porta contêineres. Navios GNL (Gás Natural Liquefeito) também podem usar esse sistema, pois podem queimar a carga que se gaseifica nos porões.

As turbinas a gás podem ser usadas para gerar energia e alimentar motores elétricos ou usar o movimento do eixo para propelir a embarcação, usando em conjunto com turbinas a vapor podemos aproveitar os gases de exaustão para gerar mais energia e assim aumentar a eficiência do sistema.

Turbinas a vapor podem ser alternativas para propulsão, apesar de não serem utilizadas muito nos dias de hoje, pois precisam de uma grande quantidade de combustível quando comparado ao motor diesel, além do peso e espaço ocupado por seus componentes. As turbinas a vapor precisam de uma fonte de calor para transformar água líquida em vapor, essa fonte de calor podem ser os gases de exaustão de uma turbina a gás como já mencionado, como podem também ser de uma reação nuclear ou dos gases de exaustão do próprio motor diesel. Elas podem ser usadas em submarinos nucleares e em navios LNG, pois também podemos queimar carga que se gaseifica nos porões.

Além do sistema propulsivo, temos outros sistemas dentro da praça de máquinas, chamados de sistemas auxiliares, alguns diretamente ligados à propulsão, como o sistema de

óleo combustível, sistema de lubrificação, sistema de refrigeração do motor (de alta e de baixa temperatura) e sistema de ventilação. Já outros não estão diretamente ligados ao sistema propulsivo, porém servem com suporte a sistemas auxiliares ou para outros serviços na embarcação, como é o caso do sistema de geração de vapor, tratamento de efluentes, produção de água doce, sistema de lastro, sistema de baldeação e incêndio, esgoto sistemas de geração de energia elétrica e sistema de governo. Todos esses atuam de maneira conjunta e complementar, possibilitando que a embarcação desempenhe sua função, transportar a carga dentro de certas restrições.

Tendo em vista os exemplos de arranjos de sistemas propulsivos citados acima e os sistemas auxiliares dentro de uma embarcação, podemos ter uma ideia da quantidade de equipamentos presentes numa embarcação. Dessa forma é importante para o engenheiro naval conhecer bem esses sistemas e componentes não só para aplicação no projeto de embarcações convencionais, mas também para investigação de como impactam na embarcação a modificação de certos parâmetros do motor.

Para investigar tais mudanças é importante confrontar resultados analíticos com dados experimentais obtidos em laboratórios. Como pode ser visto no trabalho de Junior e Belchior (2010), onde é feito um simulador de motores baseado na equação da primeira lei da termodinâmica para analisar como mudanças no teor de biodiesel de soja no diesel afetam na pressão e temperatura do cilindro e também na emissão de poluentes. Após a simulação, são confrontados os gráficos da pressão no cilindro e da temperatura no cilindro versus o ângulo da manivela, resultados do simulador, com dados obtidos experimentalmente com um motor diesel instrumentado do Laboratório de Máquinas Térmicas da UFRJ.

Ao final da pesquisa os autores concluem que o simulador apresenta um bom desempenho e que quanto maior teor de biodiesel menor o tempo de combustão, pois o Número de Cetano (NC) do biodiesel de soja é maior o do óleo diesel. O Número de Cetano está relacionado com a qualidade da combustão que ocorre no motor, quanto maior melhor a combustão, o que está relacionado com a combustão rápida e uniforme do combustível.

Em relação às emissões, combustíveis com menor teor de biodiesel, dependendo do ponto de operação, apresentam uma menor emissão de NOx e maior emissão de CO. Segundo os autores, a menor emissão de NOx se deu devido as temperaturas mais elevadas atingidas no cilindro conforme aumentamos o teor de biodiesel de soja no diesel.

No trabalho de Kyrtatos, Ioannidis, Pavlidis, Ventouris e Raptis, intitulado “The New Laboratory Facility “MARTHA” for Marine Propulsion Research and Development”, temos a descrição da estrutura e as pesquisas que são feitas no Laboratório de Engenharia Marítima

(LME – Laboratory of Marine Engineering) da National Technical University of Athens (NTUA).

A principal área de estudo deste laboratório é na análise teórica e experimental de cargas dinâmicas de motores durante sua operação e da interação motor-hélice. As análises experimentais são complementadas com a parte computacional, que inclui simulações de motores, simulações dinâmicas da interação casco-motor-hélice, análise de vibrações, otimização e análises de elementos finitos.

Os dados experimentais são colhidos através de dois motores a diesel acoplados a dois dinamômetros, instrumento o qual possibilita simular diversas condições de carregamento de sistemas propulsivos. Os dois conjuntos são indicados na Figura 3 e 4.

Figura 3 - Motor MAN B&W Holeby L16/24 de 440 kW



Fonte: www.lme.ntua.gr/

Figura 4 - Motor Caterpillar 3508 de 750 kW



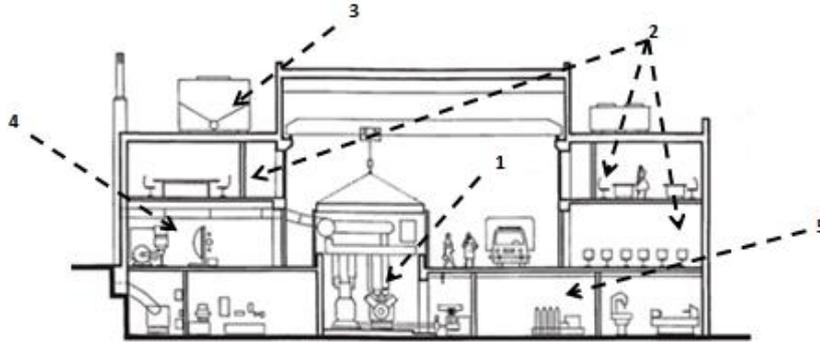
Fonte: <http://www.lme.ntua.gr/>

Para o funcionamento dos motores, o laboratório conta com todos os sistemas auxiliares para o funcionamento do motor (sistema de resfriamento de baixa temperatura e alta temperatura, sistema de óleo combustível e sistema de lubrificação), o laboratório também conta com um sistema de isolamento acústico para prover um ambiente confortável para as salas e escritórios dos pesquisadores presentes no prédio. Assim como numa embarcação, toda a operação dos motores pode ser controlada dentro de uma sala de controle onde é feita a aquisição de todos os dados experimentais.

Na Figura 5 podemos ver uma vista em corte do LME. Nela podemos identificar alguns sistemas auxiliares do laboratório. No item 1 é indicada a sala de teste do laboratório a qual abriga os motores diesel, uma visão real da sala de teste pode ser vista na Figura 6 em seguida. O item 2 representam a sala de reunião, o escritório e sala de aula do laboratório. No item 3 podemos ver a torre de refrigeração que retira calor da água de refrigeração do motor.

Já no item 4 e 5 da Figura 5 podemos ver a sala de tratamento de combustível e a sala com o sistema de combate a incêndio.

Figura 5 – Vista em corte do



Fonte: <http://www.lme.ntua.gr/>

Figura 6 – Sala de testes do LME



Fonte: <http://www.lme.ntua.gr/>

Os autores Martyr e Plint (2007) destacam a importância de atividades práticas para um estudante de engenharia. Segundo eles algumas horas em um laboratório é a melhor maneira de apresentar ao estudante de engenharia os aspectos práticos desta ciência, a qual vai além da teoria e das simulações computacionais, que são inevitáveis como colocam os autores.

Em sua obra, Martyr e Plint (2007) descrevem como deve ser feito projeto de uma instalação de testes de motores genérica, seja ele motores automotivo, marítimo ou para geração de energia. No livro encontramos descrição dos sistemas de refrigeração para o motor, sistema de ventilação da sala, sistema de controle da sala, sistema de óleo lubrificante e combustível para um laboratório de testes. Além disso, também temos uma descrição sobre

considerações a serem feitas para a instrumentação no laboratório, o acoplamento de dinamômetros com motores, análises termodinâmicas da sala e balanço de energia do sistema como todo.

No cenário atual da indústria naval brasileira, um tema bastante recorrente é a produtividade de estaleiros de maneira que nossa indústria possa se tornar competitiva internacionalmente e que seja viável a construção de navios no Brasil.

Em termos do projeto das embarcações, pouca coisa é feita no Brasil, salvo aqueles na área de exploração de petróleo feitos pela Petrobras com instituições de ensino e com empresas privadas de projeto, mas de maneira geral os projetos das embarcações sendo construídas no Brasil são de empresas estrangeiras e parceiros tecnológicos dos estaleiros.

Frente a um mercado onde questões relacionadas ao meio ambiente têm cada vez mais relevância, o mercado naval vem abordando essa questão através de normas internacionais para diminuição de poluição e aumento da eficiência energética de embarcações, como é o caso da MARPOL. Sendo a inovação um dos atributos que auxiliam na competitividade de um produto em um mercado, o investimento em inovações e pesquisa nessa área pode ser um diferencial no mercado.

Inicialmente, a ideia principal deste laboratório não é fazer um centro de pesquisa referência no mundo, mas sim oferecer ao aluno um senso prático de como funciona uma praça de máquinas e como os sistemas dentro dela se relacionam entre si, e assim incentivar o senso dos alunos, e futuros profissionais, para desenvolvimento dessas inovações. Além disso, a existência de um laboratório de máquinas iria incentivar a produção de pesquisa, artigos trabalhos de pós-graduação na área, os quais agregam valor ao curso de engenharia naval da UFPE.

3 SISTEMAS DA PRAÇA DE MÁQUINAS

Antes de fazer o projeto dos sistemas do Laboratório de Máquinas Marítimas é necessário sabermos quais os principais sistemas que existem na praça de máquinas de um navio.

Podemos definir uma praça de máquinas como o compartimento do navio onde se encontram os maquinários que fazem a embarcação desempenhar sua tarefa, a qual depende do tipo da embarcação.

Na Tabela 1 podemos encontrar a listagem dos principais sistemas auxiliares de uma embarcação, um pequeno resumo de sua função e a sua aplicabilidade para o laboratório.

Tabela 1- Resumos dos principais sistemas auxiliares de uma embarcação

Sistema	Função	Aplicável ao Laboratório? (Sim / Não)
Propulsivo	Propelir a embarcação na velocidade requerida.	Não
Água de Arrefecimento	Arrefecer os motores da embarcação.	Sim
Água Doce	Gerar água doce a partir da água do mar para serviços diversos a bordo.	Não
Óleo Lubrificante	Amenizar o desgaste por atrito das partes móveis do motor.	Sim
Óleo Combustível	Fornecer combustível para os diversos consumidores a bordo.	Sim
Água de Lastro	Ajustar o trim e o calado da embarcação nas mais diversas condições de carga.	Não
Água de Baldeação e Incêndio	Lavagem de compartimentos e combate a incêndios dentro do navio, respectivamente.	Não
Ar de Partida	Fornecer ar comprimido de alta pressão para partida do motor.	Sim
Ventilação e Ar de Combustão	Garantir a troca de ar da praça de máquinas.	Sim
Esgoto	Tratamento de efluentes a bordo.	Sim
Produção de Vapor	Produzir vapor para diversos serviços a bordo.	Sim*
Geração de Energia Elétrica	Gerar energia elétrica a bordo.	Não
Governo	Controle do leme para manobra da embarcação.	Não

*Pensa-se em representar esse sistema através de uma bancada didática.

Devido à quantidade de sistemas dentro de uma embarcação e pelo fato de muitos deles não se aplicarem a um laboratório acadêmico não podemos replicar exatamente uma praça de máquinas num ambiente acadêmico.

O sistema propulsivo, pelo eixo, mancais e hélice, não é aplicável ao laboratório, pois para termos uma hélice acoplada ao motor necessitamos de uma estrutura para imersão desta em um meio fluido diferente do ar. Ainda sim esse sistema pode ser representado por um dinamômetro, onde poderíamos simular diversas condições de carregamento do motor.

O sistema de água doce não se faz necessário pelo fato de que diferentemente de um navio, iremos ter água doce sendo fornecida para o laboratório não se fazendo necessária a sua produção.

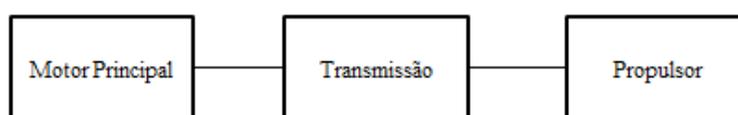
Já o sistema de lastro também não será necessário, um seria a falta de aplicabilidade no laboratório e a outra seria devido a simplicidade do seu princípio de funcionamento, bombas enchendo e esvaziando tanques de lastro para corrigir o trim e o calado da embarcação. Didaticamente esse sistema pode ser bem entendido se o aluno compreender o funcionamento e o dimensionamento de uma bomba para transportar um fluido de um ponto A para um ponto B.

A seguir todos os sistemas citados na Tabela 1 serão explicados para o melhor entendimento de suas funções, princípio de funcionamento e componentes.

3.1 SISTEMA PROPULSIVO

A função do sistema propulsivo de uma embarcação é propelir o navio na velocidade de serviço requerida. Esse sistema é composto por três componentes principais, os quais são indicados no esquema da Figura 7.

Figura 7 – Esquema do sistema propulsivo



Fonte: Adaptado de Woud e Stapersma

Woud e Stapersma (2002) ressalta que o motor principal transforma a energia química contida no combustível em energia mecânica no eixo do motor. Segundo os autores, os motores à diesel são os mais comuns em navios mercantes devido ao seu baixo consumo de

combustível quando comparados a outros tipos como turbinas a gás ou a vapor. Porém esses últimos encontram aplicações em embarcações específicas como navios militares e navios GNL.

A transmissão, como nome já diz, é responsável pela transmissão da energia mecânica gerada no motor para o propulsor. Ela também transmite o empuxo gerado no propulsor para o casco. Esse subsistema é formado por eixos, caixas de redução e mancais.

A transmissão da energia do motor para o propulsor não precisa ocorrer necessariamente através de um eixo propulsor (transmissão mecânica), ela pode ocorrer através de cabos de energia, neste caso o motor diesel funciona como um gerador, onde energia elétrica gerada é transmitida para motores elétricos os quais convertem a energia elétrica em energia mecânica para o hélice.

O propulsor é o componente que converte a energia rotativa entregue pelo eixo em energia mecânica de translação que faz a embarcação navegar, ou seja, ele converte o torque do motor em uma força de empuxo gerada através da diferença de pressão em diferentes regiões do propulsor.

O tipo de propulsor mais utilizado são os hélices, esses podem ser de passo fixo ou controlado. Porém existem outros tipos de propulsores, como os waterjets e o Voith-Schneider, os quais uma descrição mais detalhada fogem do escopo deste trabalho.

3.2 SISTEMA DE ÁGUA DE ARREFECIMENTO

Esse sistema tem como função retirar calor do motor. Silva (2007) caracteriza esse sistema em dois tipos, o sistema de arrefecimento aberto e fechado. No sistema de água aberto, água do mar entra em contato com o motor para retirar calor dele. Devido às características corrosivas da água do mar, está se evitando o uso deste tipo de sistema em projeto de embarcações, o que aumenta a vida útil dos componentes desse sistema (tubulações, bombas, válvulas, etc.) e das partes do motor.

No sistema fechado, água doce entra em contato direto com o motor para a retirada de calor, a água doce quente que sai do motor troca calor com a água do mar em trocadores de calor a bordo da embarcação. Nesse sistema, se tenta fazer com que a água salgada percorra o menor caminho possível dentro das linhas do sistema de arrefecimento.

Dentro do sistema de arrefecimento temos dois subsistemas o sistema de água doce e o de água salgada. O sistema de água doce é um circuito fechado onde a água retira calor das

camisas e cabeçotes dos cilindros, ar que sai do turbocompressor e óleo lubrificante do motor. Apesar de esse circuito ser fechado, podem ocorrer fugas de massa de água por evaporação devido ao contato com partes quentes do motor, assim existe um tanque de água para compensar essas perdas, esse tanque é chamado de tanque de expansão ou compensação.

Caso a temperatura da água esteja abaixo de um limite de temperatura aceitável, uma válvula de 3 vias dá passagem ao fluido para que ocorra a recirculação dele para o motor novamente. Caso a água esteja acima desse limite de temperatura, a válvula manda o fluido para os trocadores de calor, onde ocorre a troca de calor entre água doce e água do mar.

É usual fazer a distinção entre circuito de água de alta temperatura e o circuito de água de baixa temperatura. O primeiro, troca calor com as partes do motor (camisa do cilindro e o cabeçote do cilindro). Já o segundo troca calor com o óleo lubrificante e com o ar que sai do turbocompressor.

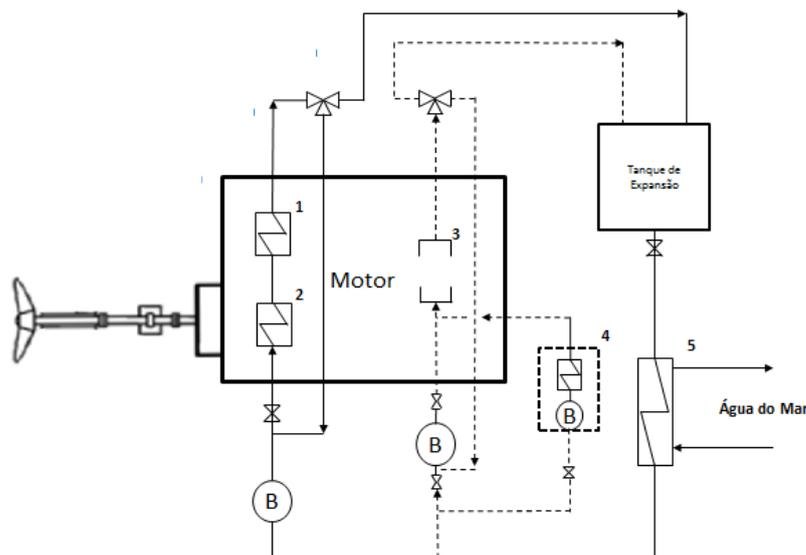
Podem ser feitos diversos arranjos para esses sistemas, como o uso de uma linha comum para o circuito de alta e para o de baixa temperatura ou uso de sistemas separados para esses fluidos, instalação de evaporadores ou até recuperadores de calor na linha para aumentar a eficiência do sistema. Enfim a configuração do sistema depende do projetista, além do tipo e do porte da embarcação.

O sistema de água salgada tem como objetivo a retirada de calor da água doce que circula no motor. A água do mar entra a bordo pela caixa de mar onde após passar por um filtro é bombeada para os trocadores de calor água doce e água do mar.

Na Figura 8 temos um arranjo simples de sistema de refrigeração de um motor diesel. Nesse sistema os circuitos de alta (com linha pontilhada) e de baixa (com linha cheia) temperatura vêm do mesmo reservatório, tanque de expansão. Antes de entrar no motor, a água de alta temperatura passa por uma unidade de pré-aquecimento (item 4) para que ela fique a uma temperatura adequada após paradas prolongadas do motor.

Ainda na Figura 8, podemos ver no item 1 e 2 o trocador do lubrificante e do ar de sobre alimentação, ambos geralmente integrados ao motor. O item 3 da Figura representa o cilindro do motor, o qual é resfriado pela água de alta temperatura. Já o item 5 representa o trocador de calor que resfria a água dos circuitos através da água do mar.

Figura 8 – Exemplo de um sistema de resfriamento do motor



Fonte: Adaptado de Project Guide Wartsila 20

3.3 SISTEMA DE ÁGUA DOCE

Toda embarcação precisa de água doce tanto para serviços domésticos como também para alimentar o tanque de expansão do circuito fechado de arrefecimento do motor. Molland (2008) afirma que é uma prática comum que embarcações partam do porto com seus tanques de armazenamento de água doce com capacidade mínima necessária, e à medida que essa água é utilizada mais água é produzida a bordo através dos vaporizadores.

Para Silva (2007), o equipamento mais comum na geração de água potável a bordo é o vaporizador de baixa pressão ou a vácuo ilustrado na Figura 9. Segundo o autor, nesses equipamentos a água do motor é o fluido quente usado para vaporizar a água do mar. Devido à temperatura dessa água ser abaixo do ponto de ebulição da água do mar, dentro desses vaporizadores é mantida uma pressão pequena, de maneira a abaixar o ponto de ebulição da água.

O princípio de funcionamento desses vaporizadores é relativamente simples, água doce do circuito de alta temperatura do motor entra em um feixe de tubos na parte inferior do equipamento e vaporiza a água do mar que está sendo mantida a uma baixa pressão. O vapor d'água é condensado ao passar por feixes de tubos com água do mar e a água destilada é então extraída do equipamento. Deve ser feito um controle de salinidade nessa água, assim caso concentração de sais na água esteja acima de um valor, a válvula de alimentação é fechada e a

água que acabou de circular no equipamento passa novamente pelo vaporizador até que sua salinidade esteja num valor adequado.

Silva (2007) alerta que um cuidado a ser tomado é em relação à presença de bactérias na água destilada, pois como a água é destilada a uma temperatura baixa não é garantida a eliminação desses micro-organismos. Logo, a água destilada passa por um processo de esterilização antes de seu consumo.

Figura 9 – Evaporador da Alfa Laval



Fonte: www.alfalaval.com

3.4 SISTEMA DE ÓLEO LUBRIFICANTE

Esse sistema tem como objetivo amenizar o desgaste e o atrito entre as peças móveis do sistema propulsivo, evitar escapamento de gases produzidos nos cilindros, arrefecer partes internas do motor e remover sujeiras formadas na combustão.

Brinati (2012) aponta que em motores de grande porte, podemos dividir esse sistema em dois subsistemas. O sistema de lubrificação forçada de baixa pressão (mancais do motor) e forçada de alta pressão (cilindros do motor). Uma característica que distingue os dois subsistemas é o tipo de óleo lubrificante. Para a lubrificação dos cilindros do motor, o fluido deve possuir a característica de neutralizar substâncias formadas durante o processo de combustão, além de não carbonizar nas linhas do circuito.

O sistema de lubrificação dos mancais é um circuito fechado onde após o óleo passar pelo sistema propulsivo ele vai para o tanque de dreno, localizado no fundo duplo do navio. O tratamento do lubrificante é feito através de uma unidade de separação com centrifugas e aquecedores, esses equipamentos estão sempre tratando o lubrificante e jogando para o tanque

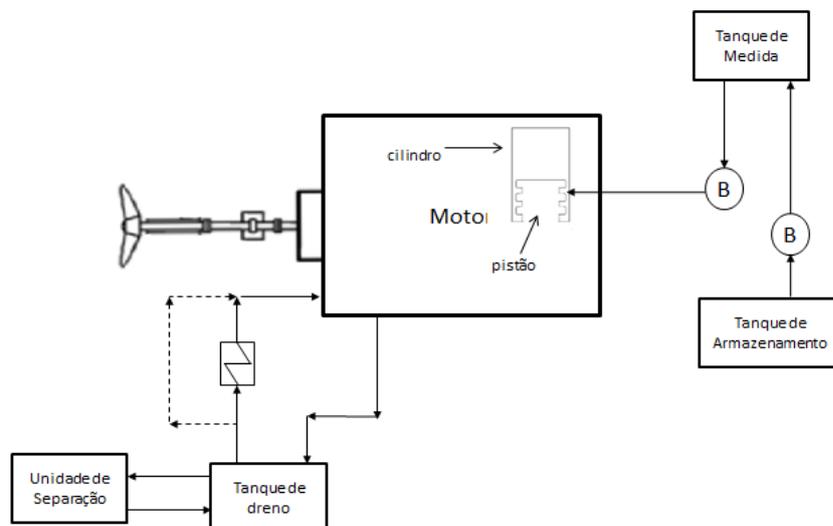
de dreno. Do tanque de dreno, o óleo combustível é bombeado para o motor, podendo ou não passar por um resfriador, caso sua temperatura seja acima da indicada.

Assim como a água doce do sistema de resfriamento, esse óleo é parcialmente consumido, assim deve existir a reposição desse óleo consumido. Esse óleo de reposição é armazenado no tanque de armazenamento e na sua trajetória o fluido é bombeado para tanques de sedimentação e purificadores, onde são tratados para ficar em condições de uso. Depois de tratado, o lubrificante vai para um tanque de reserva o qual tem comunicação direta com o tanque de dreno, e à medida que é necessária a reposição deste óleo no tanque de dreno o fluido escoar por gravidade do tanque de reserva para o tanque de dreno.

No sistema de alta pressão de lubrificação é composto por um tanque de armazenamento e um tanque de reserva, chamado de tanque de medida. A bomba que faz o fluido escoar do tanque de medida para os cilindros é uma bomba acionada pelo motor. Dentro do cilindro o lubrificante deve ser distribuído da maneira mais rápida e uniforme possível para evitar o contato entre o pistão e os anéis. Para cumprir tal tarefa Brinati (2012) descreve que eles saem por furos distribuídos de maneira circunferencial na camisa do cilindro. Esses orifícios devem ficar posicionados verticalmente no cilindro e onde a velocidade do pistão é a menor, ou seja, próximo ao ponto morto superior do curso de compressão.

A Figura 10 a seguir é esquema do sistema de lubrificação de alta pressão e de baixa pressão.

Figura 10 – Esquema do sistema de lubrificação de um motor



Fonte: Adaptado de Brinati (2012)

3.5 SISTEMA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL

Esse sistema alimenta todos os motores a bordo, propulsão e geração de energia, assim como caldeiras para geração de vapor. As suas características variam de acordo com o tipo e dimensões do navio, tipo de propulsão e autonomia.

A maioria das embarcações mercantes da atualidade utilizam motores a diesel de baixa e média rotação queimando óleo pesado (HFO) para viagem em velocidade de serviço, e durante períodos de arranque e manobras é feito o uso de óleo diesel marítimo. Portanto podemos perceber a existência de dois subsistemas dentro do sistema de óleo combustível, o sistema de óleo pesado e o sistema de óleo leve.

Em embarcações de grande porte, o combustível é alocado em tanques no fundo duplo do navio. Esses tanques são mantidos aquecidos por serpentinas, por onde passa vapor gerado nas caldeiras. Além de serem aquecidos, os tanques podem ter comunicação entre si com o objetivo de corrigir trim da embarcação a medida que o combustível é consumido.

No caso do sistema de óleo pesado, antes de queimar o combustível, deve existir um tratamento para retirada de impurezas do óleo. A primeira etapa desse tratamento acontece nos tanque de decantação, onde ocorre a separação da água presente no combustível. Esse processo é feito a uma temperatura relativamente elevada e a água que se acumula na parte de baixo do tanque é purgada.

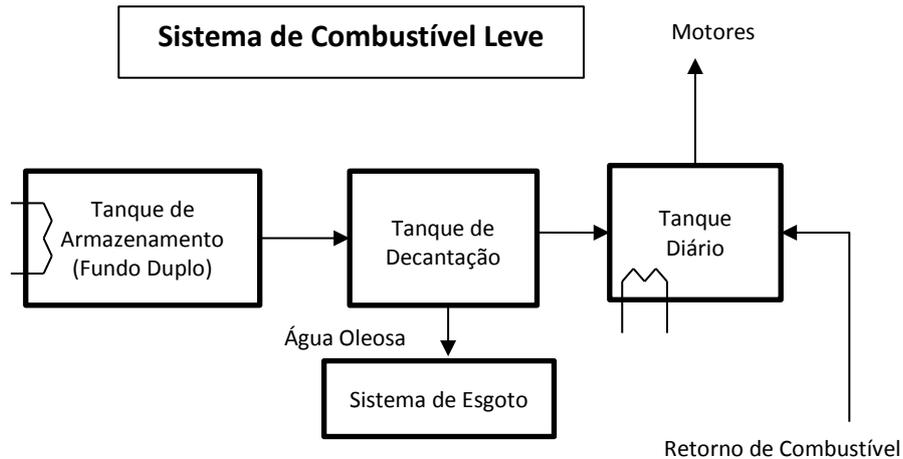
Depois da etapa de decantação o HFO é bombeado para uma unidade de separação a qual é composta por centrifugas, aquecedores e filtros. Nessa unidade ocorre a separação das partículas ainda sólidas presentes no combustível. Por ser mais refinado e conter poucas impurezas, o óleo leve não precisa passar por esse processo na unidade de separação, bastando apenas utilização de filtros.

Ambos os tipos de óleo, pesado e leve, passam por esse processo, porém o óleo leve não precisa passar pelo processo de decantação assim ele é bombeado diretamente para o processo de centrifugação.

Após o tratamento o combustível vai para o tanque diário aonde é distribuído para os consumidores de combustível do navio como o motor principal, diesel geradores e caldeiras. Esse tanque também é mantido a uma temperatura adequada para garantir uma viscosidade para injeção do combustível.

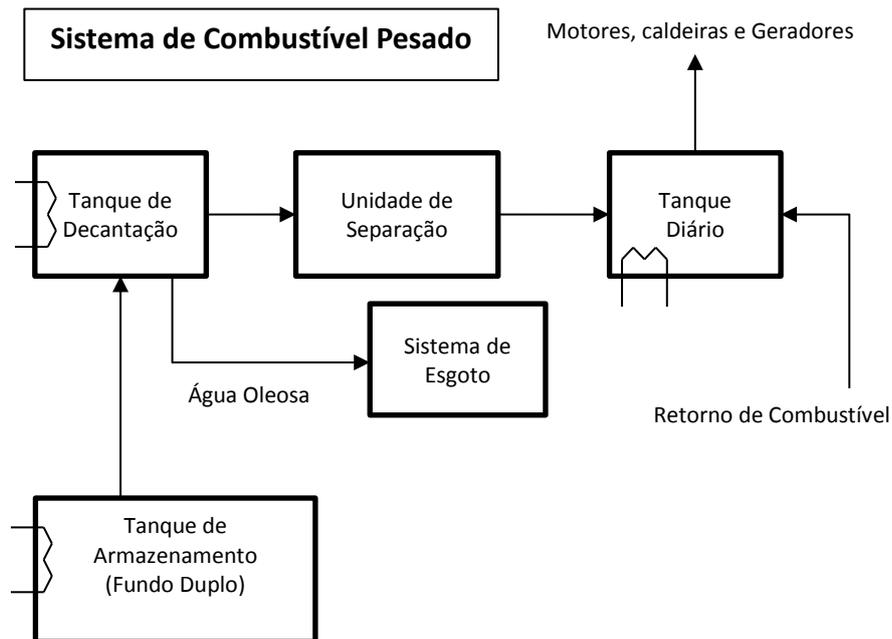
Nas Figuras 11 e 12 a seguir podemos esquemas dos processos de tratamento do óleo leve e pesado descritos anteriormente.

Figura 11 – Esquema do sistema de óleo combustível leve de uma embarcação



Fonte: Adaptado de Silva (2007)

Figura 12 – Esquema do sistema de óleo combustível pesado de uma embarcação



Fonte: Adaptado de Silva (2007)

3.6 SISTEMA DE ÁGUA DE LASTRO

Como descrito em Brinati (2012), esse sistema tem como objetivo de ajustar o trim e o calado da embarcação nas diversas condições de carregamento as quais a embarcação é projetada para operar. Esse controle se dá através do carregamento e descarregamento de tanques com água do mar proveniente da caixa de mar do navio.

Ainda segundo o autor o sistema de lastro utiliza bombas centrífugas para o transporte do fluido e na rede existe apenas uma tubulação para encher e esvaziar os tanques de lastro, os quais não precisam estar intercomunicados. Essas bombas, em navios mercantes, podem ser as mesmas para o sistema de incêndio, baldeação ou de água salgada do sistema de resfriamento. Já em caso de navios de grande porte para transporte de carga, como navios petroleiros, por exemplo, geralmente é feita a instalação de bombas adicionais na casa de bombas, pois esse tipo de navio requer uma bomba com vazão maior para o sistema de lastro.

Em navios com fundo e costado duplo, esses compartimentos podem ser usados como tanques de lastro. Já em embarcações menores que geralmente não necessitam desta característica, os tanques de lastro podem ser alocados ao longo da embarcação de maneira a compensar a distribuição não uniforme de pesos da embarcação.

3.7 SISTEMA DE ÁGUA DE BALDEAÇÃO E INCÊNDIO

Esses sistemas são mencionados de maneira conjunta, pois geralmente eles utilizam a mesma rede devido às características do fluido, água salgada captada pelas caixas de mar. Como já mencionado anteriormente, em embarcações de menor porte tem um conjunto de bombas tanto para os serviços de baldeação e incêndio como também para o sistema de lastro e água salgada de resfriamento.

Como caracterizado em Silva (2007), o serviço de baldeação é a lavagem de conveses da embarcação, amarras e outros serviços de lavagem dentro da embarcação. A atividade gera uma mistura de impurezas, como água e óleo, por exemplo, impossibilitando seu descarte direto no mar. Assim esse sistema funciona em conjunto com o sistema de esgoto do navio, o qual faz o recolhimento, tratamento e descarte dos fluidos resultantes.

Devido ao sistema funcionar em conjunto com o sistema de incêndio, ou seja, o combate a qualquer eventual acidente dentro da embarcação, o sistema de baldeação e incêndio deve ter uma bomba de emergência instalada fora da praça de máquinas para o caso de incêndios que bloqueiem o acesso na praça de máquinas.

3.8 SISTEMA DE AR DE PARTIDA

Esse sistema é utilizado durante a partida do motor, o qual utiliza ar comprimido para movimentar os cilindros até o motor chegar a certo valor de rotação e a partir daí começar a injetar combustível para queima.

O ar comprimido fica em um reservatório a uma alta pressão, o valor deste parâmetro depende do motor. O volume desse reservatório é dimensionado de maneira a garantir certo número de partidas consecutivas. Valores mínimos para essa quantidade de partidas são estipulados por Sociedades Classificadoras. Na ABS (*American Bureau of Shipping*), por exemplo, a quantidade de partidas consecutivas depende do tipo do motor (reversível ou não reversível) e do arranjo propulsivo da embarcação (hélice única acoplada através de caixa de redução a um único motor ou múltiplos motores, ou múltiplos hélices acoplados através de caixa de redução a um único motor ou múltiplos motores).

Em seu guia de produto, a Wartsila indica dois processos que devem ser feitos para garantir a qualidade do ar que entra no sistema. Antes de entrar no reservatório de ar comprimido, o ar deve passar por uma unidade de separação de água e óleo para evitar concentrações dessas substâncias no reservatório. A outra é a instalação de filtros entre o reservatório e o motor para prevenir que partículas entrem no motor.

3.9 SISTEMA DE VENTILAÇÃO E AR DE COMBUSTÃO

De acordo com a NBR 8807, a qual trata da ventilação para praça de máquinas de embarcações mercantes de propulsão diesel, em uma praça de máquinas deve ser garantida a troca de ar constante, pois temos que garantir condição de conforto e segurança para os tripulantes que irão trabalhar no compartimento, fornecer ar de combustão aos motores diesel e outros componentes, além de garantir que os equipamentos não atinjam temperaturas acima dos limites de trabalho especificados pelos fabricantes.

Dessa maneira, esse sistema tem como finalidade fazer a troca de ar da praça de máquina garantindo condições de operação e segurança para a embarcação. Devido ao aporte de calor gerado na praça de máquinas essa é feita através de ventilação forçada.

Em seu guia de produto para dimensionamento dos sistemas auxiliares de um motor diesel, a Wartsila aponta que as principais fontes de calor numa praça de máquinas são:

- Motores principais e auxiliares;

- Tubulação de gases de exaustão;
- Geradores;
- Equipamentos elétricos e iluminação;
- Caldeiras;
- Tubulação de vapor e condensados;
- Tanques;

No guia de produto é alertado sobre o cuidado em relação à qualidade do ar o qual irá entrar nos equipamentos, esse deve estar livre de umidade muito alta e poeira. Geralmente o sistema de ar de combustão e o de ventilação da praça de máquinas são sistemas independentes, e antes da entrada de ar para combustão em algum equipamento esse ar passa por filtros e secadores.

3.10 SISTEMA DE ESGOTO

Silva (2007) aponta que esse sistema tem como objetivo o recolhimento das águas residuais resultantes de lavagem de conveses, cavernas praça de máquinas, porões, ou seja, qualquer água que possua certo grau de contaminação com óleo ou combustível.

De acordo com a MARPOL, a descarga direta no mar de óleo ou misturas oleosas só deve ocorrer com a finalidade de assegurar a segurança do navio ou na ocorrência de alguma avaria no navio ou em seus equipamentos.

Dessa maneira é exigido que a mistura passe por um tratamento antes de seu descarte ao mar. O tratamento é feito por separadores água/óleo alocados dentro da embarcação, esses diminuem a concentração de impurezas da água deixando em um nível aceitável estipulados em norma, 15 partes por milhão segundo a MARPOL.

O processo de separação se dá geralmente através da centrifugação da substância. Após a separação temos óleo, água e lama (borra) para serem descartados. O óleo separado é enviado para tanques de resíduos que de tempos em tempos é esvaziado ao chegar ao porto. No caso da água, se a embarcação estiver a uma distância mínima de 50 milhas náuticas da costa (distância estipulada pela MARPOL para navios petroleiros ou navios) o fluido pode ser descartado no mar. Caso a embarcação esteja dentro desse limite, a água deve ser armazenada e descartada quando o navio estiver navegando acima da distância mínima da costa. Já a borra é queimada em incineradores.

Devido a diferença em seu tratamento, Silva (2007) afirma em seu trabalho que águas residuais provenientes de instalações sanitárias, mictórios, compartimentos médicos ou compartimentos que contenham animais, devem ter um sistema especial. Geralmente se usa um tratamento químico nesses efluentes de maneira a deixar a água em um nível aceitável de concentração de sujeira para assim poder ser descartado. Os resíduos sólidos provenientes do processo são incinerados junto ao lixo produzido.

3.11 SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR

Esse sistema tem a função de gerar o vapor utilizado a bordo para os mais diversos serviços, como por exemplo, condicionamento de carga, climatização, aquecimento de água para uso doméstico e aquecimento de tanques. O vapor é gerado através de caldeiras, esses equipamentos aquecem a água gerando vapor através de um processo de combustão que ocorre dentro do equipamento.

Em navios, o combustível utilizado na combustão da caldeira é o diesel. Segundo o site da Alfa Laval, pode ser usado tanto o diesel leve como o pesado para combustão da caldeira, esse óleo é fornecido para caldeira por um atomizador (Figura 13). Esses equipamentos são alimentados pelo sistema de combustível assim como o motor principal, motores auxiliares e geradores do navio.

Figura 13 - Atomizador Aalborg KBSD da Alfa Laval



Fonte: <http://www.alfalaval.com>

Basicamente existem dois tipos de caldeiras que queimam combustível para gerar calor: caldeiras aquotubulares e caldeiras flamotubulares. Nas caldeiras aquotubulares a água

fica armazenada em dois tubos de armazenamento um na parte inferior outro na parte superior da caldeira, os quais são interconectados.

O tubo inferior recebe mais calor da chama gerada na combustão. Por convecção, o vapor sobe para o tubo superior. No tubo superior ocorre a entrada de água para alimentação da caldeira e a saída de vapor d'água formado no tubo inferior. Na Figura 14 podemos ver um esquema que ilustra o processo descrito anteriormente de uma caldeira aquotubular da Alfa Laval.

Figura 14 – Caldeira aquotubular da Alfa Laval



Fonte: <http://www.alfalaval.com>

No caso de caldeiras flamotubulares gases provenientes da combustão passam por feixes de tubos imersos em água dentro da caldeira. A troca de calor faz com que a água dentro da caldeira evapore gerando o vapor. A Figura 15 ilustra o corte de uma caldeira flamotubular da Alfa Laval.

Figura 15 – Caldeira flamotubular da Alfa Laval



Fonte: <http://www.alfalaval.com>

O calor fornecido para o aquecimento da água na caldeira também pode ser oriundo de outra fonte de calor a bordo, como os gases do motor principal, nesse caso a caldeira

empregada é chamada de caldeira recuperativa e esse processo aumenta a eficiência do sistema economizando combustível e reduzindo a emissão de gases na atmosfera.

3.12 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

É o sistema responsável pelo fornecimento de energia elétrica da embarcação para os diversos serviços a bordo (acionamento de bombas, iluminação, comunicação e outros equipamentos elétricos). A energia pode ser gerada através de diesel-gerador ou alternador acoplado ao motor principal.

No caso de diesel-geradores temos um motor diesel alimentado pelo mesmo combustível do motor principal e que possui os mesmos sistemas deste (sistema de óleo combustível, sobre alimentação de ar, refrigeração e lubrificação). Esse motor é conectado a um alternador que gera energia elétrica, geralmente corrente alternada trifásica. A quantidade de geradores e o tamanho de cada um dependem do navio.

No caso de uso de alternadores acoplados ao motor principal, aproveitamos a rotação do eixo do motor principal para gerar energia elétrica. Esse arranjo usado em conjunto ao de diesel-geradores e assim aliviar o uso desses motores, economizando combustível e diminuindo a geração de poluentes.

3.13 SISTEMA DE GOVERNO

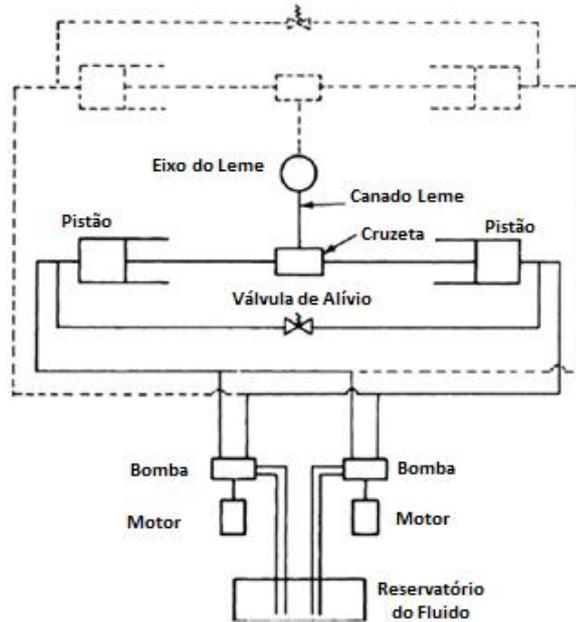
É sistema que possibilita a embarcação a fazer manobras, isso se dá pelo escoamento da água pelo leme, o qual geralmente está atrás do hélice, que gera uma força resultante que direciona o navio para o sentido desejado.

Navios com dois hélices podem possuir um leme ou dois lemes, um atrás de cada hélice. Navios com propulsores azimutais não necessitam de leme, pois o propulsor consegue girar direcionando o fluxo para a direção desejada.

Para navios que possuem leme, o seu acionamento se dá através da máquina do leme, a qual deve existir duas a bordo ficando uma sempre de reserva. Essa máquina é acionada por um sistema elétrico-hidráulico. Assim o sinal é dado ao sistema na da ponte de comando que é transmitido para o sistema hidráulico que faz com que a embarcação execute a manobra. Uma descrição mais completa do princípio de funcionamento desses sistemas pode ser encontrada em Molland (2008).

Na Figura 16 podemos ver um exemplo de máquina do leme que funciona com um sistema hidráulico. Basicamente o sistema funciona através do bombeamento do fluido para um dos pistões, dependendo para que bordo seja desejado que a embarcação execute a manobra. A pressão em um dos cilindros resulta numa força que é transformada em um torque devido ao braço formado entre o eixo do leme e o ponto de aplicação da força.

Figura 16 – Esquema de uma máquina do leme hidráulica



Fonte: Adaptado de Molland (2008)

4 LABORATÓRIO DE MÁQUINAS DA UFPE

Com esse projeto pretende-se desenvolver um ambiente que se assimile ao máximo a uma praça de máquinas de uma forma simplificada, didática e que seja factível ao orçamento da instituição de ensino. Portanto, como já mencionado, nem todos os sistemas auxiliares de uma praça de máquinas estarão presentes no laboratório.

Sendo o motor a parte mais vital da praça de máquinas, partiu-se dele para decidir quais os sistemas que estarão no laboratório. A ideia principal é a partir do motor, definir quais sistemas são necessários para mantê-lo em operação.

Para o funcionamento do motor podemos de início destacar dois sistemas, o sistema de partida por ar comprimido e o sistema óleo combustível, o qual possui um sistema de óleo diesel pesado e outro para óleo diesel leve.

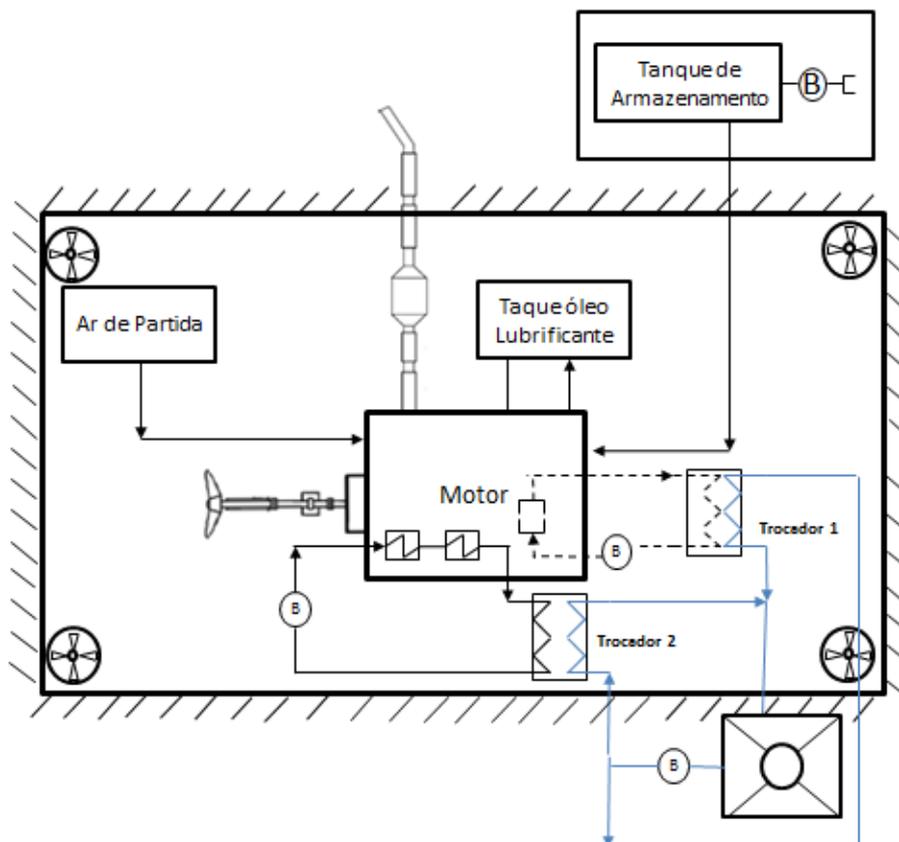
Para amortização do atrito entre as partes móveis do motor teremos um sistema de lubrificação. Devido à geração de calor da combustão, precisamos de um sistema de refrigeração para o motor, esse será feito por água doce em um circuito fechado com um circuito de refrigeração de alta temperatura e o circuito de baixa temperatura.

Como será um circuito de refrigeração fechado, para a água entrar no motor novamente ele deverá trocar calor com algum fluido, em um navio esse processo acontece utilizando a água do mar, e como isso é inviável no laboratório essa troca irá ocorrer através de uma torre de refrigeração.

A potência gerada no motor será inicialmente aproveitada em um gerador, porém seria bastante interessante o acoplamento do eixo a um dinamômetro possibilitando a realização experimentos como o estudo de condições de carregamento do motor, medição de potências e estudo da curva de potência do motor.

A partir desses sistemas podemos montar o fluxograma do laboratório, Figura 17.

Figura 17 – Fluxograma do laboratório



4.1 MOTOR DIESEL

O LMM irá ficar localizado no galpão de engenharia naval da UFPE, onde será reservado um espaço de 6x3x15m para a construção do laboratório. Dada essa restrição de espaço do laboratório, o motor a ser utilizado será um motor de alta rotação, este será de combustão interna e usará diesel marítimo como combustível.

Dentre os diversos fabricantes, foi escolhido um com base nas informações disponibilizadas na internet sobre o produto, além de escolher o motor que melhor se adapta a restrição de espaço imposta ao laboratório.

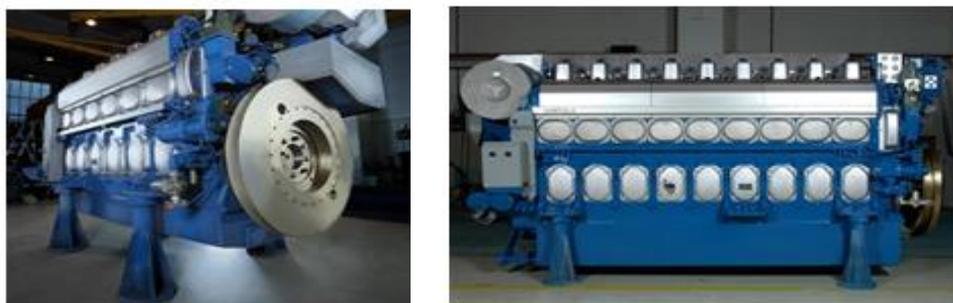
O Wartsila 20 é um motor diesel marítimo quatro tempos de alta rotação, o qual pode ser utilizado óleo diesel marítimo (MDF) e óleo diesel pesado (HFO). Ele pode ser aplicado tanto na geração de energia como também pode ser usado como motor principal de embarcações de pequeno porte.

O fabricante disponibiliza o motor com 4, 6, 8 e 9 cilindros, como a única restrição é o espaço, foi escolhido o Wartsila 20 de 4 cilindros o qual será acoplado a um alternador. Nessas condições, o motor possui as seguintes características indicadas na Tabela 2:

Tabela 2 – Características principais do Wartsila 20

Potência do Motor [Kw]	800
Gerador [Kva]	950
Diâmetro do Cilindro [mm]	200
Curso do Pistão [mm]	280
Número de Cilindros	4
Rotação [rpm]	1000
Velocidade Média do Pistão [m/s]	9,3

Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

Figura 18 – Fotos do Wartsila 20

Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

Todos os dados utilizados para o dimensionamento dos equipamentos dos sistemas que irão manter o motor em operação se encontram no Guia de Produto do Wartsila 20, referente ao motor de 4 cilindros, as principais Tabelas utilizadas desse documento encontram-se nos anexos deste trabalho.

4.2 SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

O motor funciona com dois tipos de combustível, o MDF e o HFO, os quais possuem as especificações indicadas na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Especificações do MDF e do HFO

PRORIEDADES	HFO	MDF
Densidade [kg/m ³]	1010	890
Faixa de viscosidade antes da bomba de injeção [cSt]	16 – 24	1,8 – 24
Faixa de viscosidade a 40°C [cSt]	–	3 - 6
Viscosidade máxima a 50°C [cSt]	700	–

Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

No caso de uma embarcação, o tanque de combustível deve ser dimensionado a partir do tempo da autonomia desejada para embarcação, ou seja, o tempo que a embarcação irá operar sem ser abastecida.

Segundo o fabricante, é recomendado um tanque de decantação para cada tipo de combustível, os quais em um navio devem operar durante 24 horas com o motor funcionando em seu consumo máximo. Esses tanques devem ser mantidos isolados e aquecidos a uma temperatura de 50°C a 70°C no caso do HFO e 20°C a 40°C para o MDF.

No tanque diário, o fabricante recomenda que existam tanques separados para cada tipo de combustível e que ambos tenham capacidade para garantir a operação do navio por 8 horas com o motor operando em seu máximo consumo. É importante que esse tanque esteja a uma altura de 1,5 m acima do virabrequim do motor, isso irá garantir uma pressão estática positiva na sucção da bomba de alimentação de combustível. Caso seja necessário, ambos os tanques também devem ser mantidos aquecidos, sendo o tanque diário de HFO mantido a uma temperatura de 90°C e o de MDF a uma temperatura entre 20°C e 40°C.

O motor é projetado para funcionar com HFO de maneira contínua, porém o fabricante permite o uso de MDF como combustível principal, desde que seja instalado um filtro duplo na sucção da bomba de circulação do sistema de combustível.

O objetivo do uso de um filtro duplo na instalação é que como o motor estará sempre em uso, um filtro deste tipo possibilitará a limpeza do mesmo sem a necessidade de parar a operação do motor. Como o motor do laboratório não irá funcionar por um período longo de tempo não presará de um filtro duplo, pois a limpeza pode ser feita enquanto o motor não está em operação.

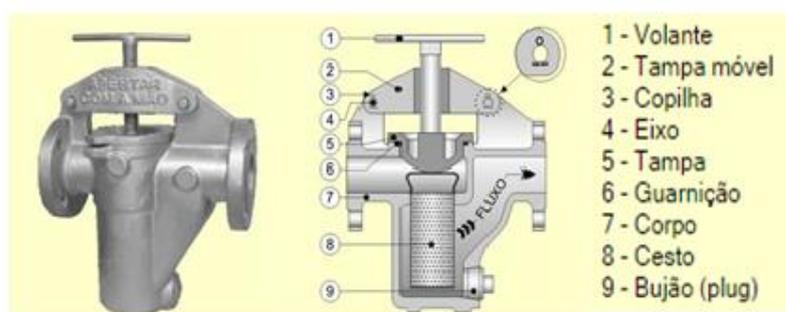
Neste trabalho será indicado que o motor do laboratório utilize MDF de maneira contínua, pois o uso apenas desse combustível irá trazer certas simplificações para o sistema como a eliminação da necessidade de uma unidade de separação, a qual pode ser substituída por um filtro. Além disso, não será necessário o aquecimento dos tanques pelo fato que o tanque de MDF deve ser mantido em uma faixa de temperatura de 20°C a 40°C, ou seja, na temperatura ambiente.

O uso de óleo pesado e óleo leve no laboratório iria enriquecer bastante a instalação, pois iríamos ter um sistema de combustível mais real quando comparado a uma embarcação. Em adição poderiam ser feitos estudos com os gases resultantes da queima HFO, combustível mais nocivo ao meio ambiente do que o MDF. Dessa maneira o uso de ambos os combustíveis no laboratório irá depender dos recursos que serão disponibilizados para a construção do LMM.

O guia de produto da Wartsila para o motor a ser utilizado no laboratório o fabricante recomenda que o filtro tenha uma *mesh* de 37 μm (tamanho de malha de 400) e suporte uma pressão de 1,6 MPa (classe de pressão 300 lb). O fabricante também especifica que sua vazão deve ser maior que a vazão da bomba de alimentação integrada ao motor (0,87 m^3/h) e é indicado que a perda de pressão máxima permitida para o filtro limpo seja de 20kPa.

Para o filtro do laboratório será indicado o filtro tipo cesto simples presente no site da Val Aço, mostrado na Figura 19. O filtro tem extremidades flangeadas para a classe de pressão e tamanho de malha desejado. O corpo é feito de aço carbono ASTM A 216 Gr. WCB. e a malha do elemento filtrante é feita de uma chapa de aço inoxidável com reforço.

Figura 19 – Filtro indicado para o sistema de combustível do laboratório



Fonte: www.valaco.com.br

Para o dimensionamento da capacidade dos tanques foi levado em consideração o tempo de funcionamento do laboratório e o tempo que o combustível pode ficar estocado.

De acordo com o documento da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o qual trata de orientações e procedimentos para manuseio e armazenagem de óleo diesel B (óleo diesel para veículos, mas segundo o documento também se aplica a óleo diesel marítimo), esse combustível deve ser estocado preferivelmente por um prazo de até um mês. Caso seja estocado por um tempo superior, ele pode deteriorar-se formando um material insolúvel desgastando o filtro e a bomba injetora do motor.

Comparado com um navio, o tempo de funcionamento do motor do laboratório será muito pequeno. Considerando que o consumo de combustível do motor em 100% de carga seja 199 g/kWh (179 l/h), se tivermos um tanque de armazenamento de 3000 litros o motor conseguirá funcionar por 16h46min, suficiente para realização de experimentos e aulas práticas.

A Figura 20 tem como objetivo ilustrar o tamanho do tanque de armazenamento que se pretende instalar no laboratório, este tanque é fabricado pela *Fuel Proof*, companhia inglesa que atua no campo de tanques para armazenamento de combustíveis.

Figura 20 – Tanque de armazenamento de combustível com 1000 litros



Fonte: www.fuelproof.co.uk

Conectadas ao tanque teremos duas bombas, uma bomba de engrenagem para encher o tanque de armazenamento. Para seu dimensionamento o único fator que foi considerado foi o tempo a ser gasto ao transferir o combustível do tanque de transporte para o tanque de armazenamento do laboratório.

Através de uma pesquisa com fornecedores na internet foi achada uma bomba de abastecimento de óleo diesel e querosene com uma vazão de 60 l/min. Com essa vazão o tanque pode ser cheio em menos de 20 minutos. A bomba, mostrada na Figura 21, tem as características conforme presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificações da bomba de carregamento

Fabricante	Bremen
Vazão [l/min]	60
Tensão [V]	230
Dimensões AxL [mm]	180x130
Peso [kg]	6,24
Potência [W]	250
Conexão de saída/ entrada [pol.]	1

Fonte: www.bremenimportadora.com.br

Figura 21 – Bomba de carregamento do laboratório



Fonte: www.bremenimportadora.com.br

O combustível será bombeado para o motor através da bomba integrada a ele, essa possui as características indicadas na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Especificações da bomba de combustível acionada pelo motor

Pressão antes da bomba de injeção [kPa]	700±50
Vazão da bomba de combustível MDF acoplada ao motor [m ³ /h]	0,87
Vazão do combustível para o motor [m ³ /h]	0,7
Temperatura máxima do MDF antes do Motor [°C]	45

Viscosidade do MDF antes do motor, min. [cSt]	1,8
Consumo de combustível em 100% da Carga [g/kWh]	199
Vazão mássica de vazamento de MDF, 100% de carga [kg/h]	3,3

Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

O sistema deve possuir um tanque de dreno para combustível. Segundo o fabricante, o motor tem uma vazão mássica de vazamento de 3,3 kg/h quando trabalha com MDF em 100% de carga. Considerando as 16h46min de funcionamento do sistema e a densidade do combustível, temos uma capacidade de 62,2 litros para o tanque de dreno de MDF, o qual deve ficar abaixo do motor.

Na Tabela 6 temos um resumo do dimensionamento dos tanques do laboratório, indicando a capacidade de cada tanque.

Tabela 6 – Capacidade dos tanques do laboratório

Tanque	Capacidade de MDF (litros)
Tanque de Armazenamento	1000
Tanque de Dreno	62,2

Abaixo do tanque de armazenamento deve existir uma bacia de contenção que tenha volume suficiente para comportar eventuais vazamentos de combustível. Segundo a NBR 7505-1 (norma para armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis), o volume desse tanque, deve ser de no mínimo uma vez o volume do tanque o qual irá conter. A Figura 22 ilustra um tanque para armazenamento de óleo diesel em uma fazenda no Mato Grosso do Sul. O objetivo da Figura é mostrar como seria a bacia de contenção que será instalada no laboratório.

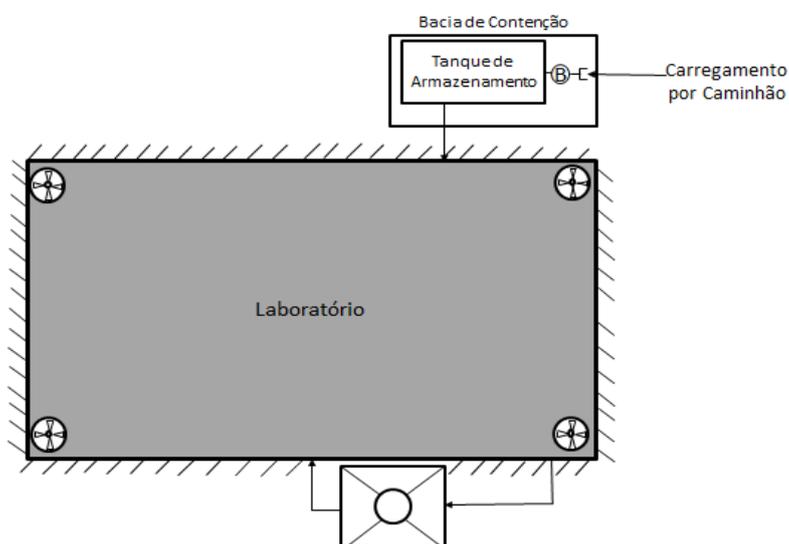
Figura 22- Tanque de armazenamento de óleo diesel com bacia de contenção



Fonte: www.fazendacabeceiradoprata.com.br

A Figura 23 é um esquema de como ficará posicionado o tanque de armazenamento, este ficará fora do laboratório e será posicionado de maneira que um caminhão fazer o carregamento do tanque. Esse tanque ficará elevado 1,5 m em relação ao virabrequim do motor como recomendado no guia de produto.

Figura 23 – Localização do tanque de armazenamento em relação ao laboratório



Os dejetos oleosos gerados pelo tanque e pela sala serão tratados por um Separador Água e Óleo (SAO). Esse SAO será instalado abaixo do nível da sala e do tanque, de modo que água oleosa da sala e da bacia de contenção seja canalizada para essa unidade de tratamento. Esse processo será como o sistema de esgoto de uma embarcação.

Será indicado o SAO SPR 800 da Alpina (Figura 24), a qual possui uma capacidade de tratamento de 800 litros por hora. Apesar de esse SAO ser o de menor capacidade disponibilizada pelo fabricante, ele nos dá uma capacidade considerável considerando a sua função e o tempo de funcionamento.

O princípio de funcionamento deste equipamento é simples, a mistura oleosa entra no equipamento e passa por placas coalescentes (mais ou menos ao centro do equipamento) essas placas tem o objetivo de acelerar a separação, pois quando a mistura passa o óleo aderem ao material e por diferença de densidade o óleo se direciona para cima, onde são captados por *skimmers*. Esses *skimmers* são duas tubulações horizontais na parte superior, as quais possuem canaletas por onde será coletado o óleo.



Fonte: www.alpinaambiental.com.br

O esquema da Figura 25 representa como será o sistema de combustível do laboratório de máquinas.

Figura 25 – Esquema do sistema de combustível



4.3 SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

De acordo com a diferenciação de Brinatti (2012), esse sistema de óleo será o de alta pressão, pois esse é óleo lubrificante que irá para as camisas do motor. Enquanto ao tipo de óleo, o fabricante do motor indica que esse óleo lubrificante deve ser da classe de viscosidade SAE 40.

O sistema deve ser composto por um tanque de óleo lubrificante, o qual está conectado a unidade de separação e ao motor. A unidade de separação funciona de maneira *off-line* no sistema para tratar 1,8 litros de óleo (volume designado pelo fabricante do motor), o qual ficará no tanque de armazenamento. Para motores que irão rodar apenas com MDF, podemos ter uma unidade de separação funcionando de maneira intermitente. Essa unidade deve ter uma bomba de alimentação, um pré-aquecedor e um separador.

O óleo lubrificante é bombeado para o motor por uma bomba acoplada a ele a qual tem uma vazão de 27 m³/h.

O óleo deve ser mantido a uma temperatura de 95°C, porém o fabricante do motor alerta que a superfície do aquecedor não deve ultrapassar 150°C para evitar que o óleo ferva perdendo suas propriedades.

A vazão volumétrica, l/h, do separador é dada por:

$$Q = \frac{1,35 P n}{t} \quad (1)$$

Sendo,

- P = Potência de saída do motor [kW] = 800;
- n= número de passagem de fluxos do tanque de volume por dia: 5 para HFO e 4 para MDF. Como o motor irá funcionar com MDF, este valor será 4;
- t= tempo de operação por dia [h] = 24

Em uma embarcação esse equipamento funcionará 24 horas por dia, mas no laboratório não. No entanto, se colocarmos quanto menor o tempo de uso maior a capacidade do separador o que não representa muito bem a realidade, por isso foi optado usar um tempo de operação do equipamento igual a 24 horas por dia.

Calculando temos,

$$Q = 180 \text{ l/h}$$

Caso não seja integrada a unidade de separação, o tanque de borra do óleo lubrificante deve ser instalado logo abaixo do separador ou o mais próximo possível abaixo da unidade de separação, para eliminar a necessidade do bombeamento desse fluido para o tanque de borra.

Para a unidade de separação do sistema em questão será indicado o uso da unidade de separação MIB-303 da Alfa Laval (Figura 26). Esse separador tem uma vazão máxima de 760l/h, podendo ser ajustado e é indicado para óleos lubrificantes, destilados e óleo diesel leve. Essa unidade vem acompanhada do separador, do aquecedor e da bomba.

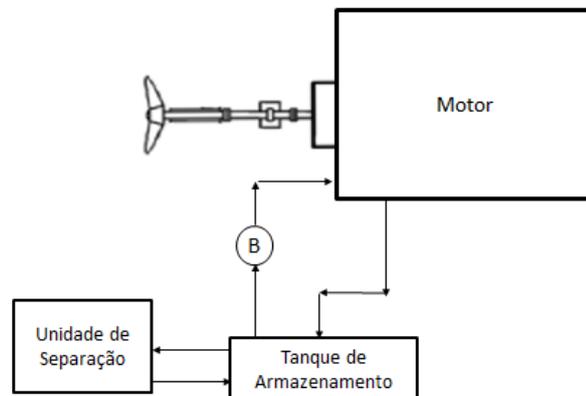
Figura 26 – Unidade de separação P-626 da Alfa Laval



Fonte: www.alfalaval.com

O sistema de lubrificação pode ser visto no esquema da Figura 27.

Figura 27 – Esquema do Sistema de óleo lubrificante do laboratório



4.4 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

Esse sistema é composto por uma unidade de compressão, a qual entrega ar comprimido a uma pressão máxima de 3 MPa. Essa unidade deve elevar a pressão da garrafa de ar de seu mínimo (1,8 MPa) ao seu máximo em um período de tempo entre 15 minutos a 30 minutos.

O reservatório de ar comprimido, chamado de garrafa de ar, deve ser dimensionado para uma pressão nominal de 3 MPa. Em uma embarcação, a quantidade das garrafas de ar e suas capacidades dependem da Sociedade Classificadora e do tipo de instalação. O volume do reservatório é dado pela equação:

$$V_R = \frac{p_E V_E n}{p_{Rmax} - p_{Rmin}} \quad (2)$$

Onde,

- p_E = Pressão barométrica normal = 0,1 MPa;
- V_E = Consumo de ar por partida [Nm³] = 1,2;
- n = Número de partidas de acordo com a Sociedade Classificadora (ABS – Parte 4 – Cap. 6 – Seção 5 – 9.51 (b)) = 6;
- p_{Rmax} = Pressão máxima de partida [MPa] = 3;
- p_{Rmin} = Pressão mínima de partida [MPa] = 1,8;

Calculando temos,

$$V_R = 0,6 \text{ m}^3$$

Para entregar ar comprimido à garrafa de ar do laboratório será indicado o compressor LT 3-30 Khe da Atlas (Figura 28). Nele, o ar é comprimido a uma pressão de 30 bar por um motor diesel de 1800 rpm e uma potência de 3,4 kW.

Figura 28 – Compressor LT 3-30 Khe da Atlas



Fonte: www.atlascopco.com.br

Também será usado um compressor para serviços gerais no laboratório, já que o ar comprimido que será fornecido será de alta pressão.

Com o intuito de evitar que partículas entrem no motor através da entrada de ar, o fabricante do motor afirma que é mandatório que o ar comprimido passe por um filtro de aço inoxidável, tamanho de malha 75 μ m e que tenha uma queda de pressão inferior a 20kPa.

4.5 SISTEMA DE ÁGUA PARA REFRIGERAÇÃO

Esse sistema tem a função de refrigerar o motor e os fluidos que passam por nele. Assim como em um navio também teremos dois sistemas de refrigeração. Um será o sistema de refrigeração de baixa temperatura (BT), que resfria o ar que sai do turbocompressor com temperatura elevada devido ao processo de compressão e o óleo de lubrificação do motor. O outro será o sistema de refrigeração de alta temperatura (AT), o qual resfria a camisa e o cabeçote do motor.

A água que circula pelo motor deve ter as seguintes características indicadas na Tabela 7:

Tabela 7 – Características da água usada para arrefecer o motor

pH mín.	6,5 – 8,5
Grau de dureza máx. [°dH]	10
Concentração de Cloreto máx. [mg/l]	80
Concentração de Sulfato máx. [mg/l]	150

Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

Numa embarcação, a água do mar não deve ser usada a não ser que ela passe por um evaporador. Água da chuva também não deve ser usada diretamente, pois a sua acidez pode acelerar o processo de corrosão das partes do sistema. Portanto é recomendado o uso de água potável para o arrefecimento do motor. No manual de instruções do motor existe uma listagem de aditivos e as dosagens que podem ser colocados na água para evitar corrosão.

Dependendo da temperatura de saída da água, ela pode passar novamente pelo circuito até que se atinja a temperatura máxima para água do circuito de BT.

O sistema de refrigeração externo ao motor, o fabricante disponibiliza no guia de produto diversos tipos de configurações de instalação para o sistema de refrigeração de uma embarcação, esses são:

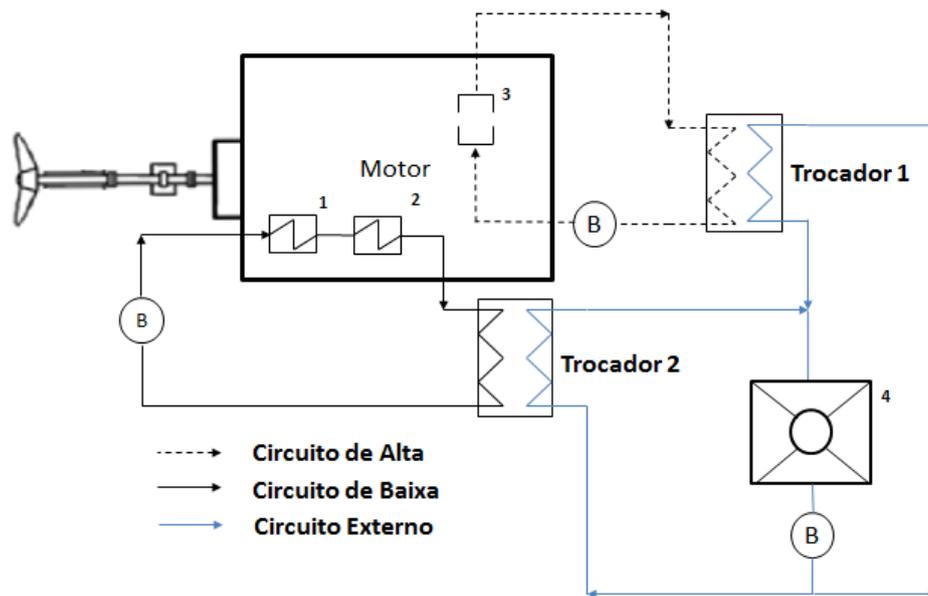
1. Motor funcionado como motor de combustão auxiliar (MCA), operando com HFO ou MDF, e com circuito de água BT e AT misturados;
2. Motor funcionado como motor de combustão principal (MCP), e com circuito de água BT e AT misturados;
3. Motor funcionado como MCA, operando apenas com MDF com circuito de água de BT e AT misturados, e com evaporador integrado ao sistema;
4. Motor funcionado como MCA, operando apenas com HFO, com circuito de água de BT e AT misturados, e com evaporador integrado ao sistema;
5. Motor funcionado como MCA, com sistema de refrigeração comum ao do MCP, com circuito de água BT e AT separado e com unidade de pré-aquecimento e recuperação de calor comum ao sistema;
6. Motor funcionado como MCA, com sistema de refrigeração comum ao MCP, com circuito de água de BT e AT misturados, e com unidade de pré-aquecimento e de recuperação de calor comum ao sistema.

A unidade de pré-aquecimento tem como objetivo aquecer a água que resfriará os cilindros a uma temperatura de 70°C.

No laboratório, os circuitos de água de BT e de AT serão separados e cada um terá um trocador de calor água/água, de maneira que cada um forme um circuito isolado dentro do sistema, esses farão parte do circuito interno. A água de resfriamento do motor irá ser refrigerada as suas respectivas temperaturas de entrada no motor através de um circuito externo, esse irá fornecer água fria proveniente de uma torre de resfriamento.

Na Figura 29, podemos ver um esquema do sistema de refrigeração do motor do laboratório de máquinas.

Figura 29 – Sistema de arrefecimento do motor do laboratório



Legenda:

- 1 - Trocador de calor do lubrificante - água
- 2 – Trocador de calor do ar de sobre alimentação - água
- 3 - Cilindros do Motor
- 4 - Torre de Refrigeração

As duas bombas presentes no *circuito* interno refrigeração serão as bombas acionadas pelo motor. Suas características para o Wartsila 20 de 4 cilindros podem ser vistas na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Especificações da bomba acionada pelo motor

Característica	Circuito de AT	Circuito de BT
Pressão nominal no motor, depois da bomba [kPa]	$200 + P_{estática}$	$200 + P_{estática}$
Pressão máx. no motor, depois da bomba [kPa]	500	500
Vazão da Bomba [m ³ /h]	20	24
Perda de pressão no motor [kPa]	90	$30 + 30^*$
Perda de pressão máx. no sistema externo [kPa]	120	120
Pressão no tanque de expansão, min. – máx. [kPa]	70 - 150	70 - 150
Diâmetro do rotor [mm]	170	170

*Perda de Pressão no arrefecedor de ar de sobre alimentação+ Perda de pressão do resfriador de óleo lubrificante.

Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

De acordo com a Tabela 8, o sistema externo do circuito interno deverá ser dimensionado de maneira a ter uma perda de pressão máxima de 120 kPa, o que inclui a perda de carga nas tubulações e no trocador de calor. Ao passar pelo motor, a água do circuito de BT e de AT têm uma perda de pressão de 60 kPa e 90 kPa, respectivamente, totalizando 180 kPa e 210 kPa de pressão que devem ser vencidas pelas bombas do motor.

Segundo o fabricante a bomba do motor pode fornecer no máximo 500 kPa de pressão, subtraindo as perdas de pressão dos sistemas (180 kPa e 210 kPa), temos um saldo de 320 kPa (32,65 mca) e 290 kPa (29,59 mca) para vencer o desnível da torre de refrigeração e fornecer sua pressão de entrada.

Para o dimensionamento do trocador de calor será usado o Método de Diferença Logarítmica das Temperaturas. Segundo o método a troca de calor na área da superfície do trocador de calor é dada por:

$$q = UA \Delta T_{ml} \quad (3)$$

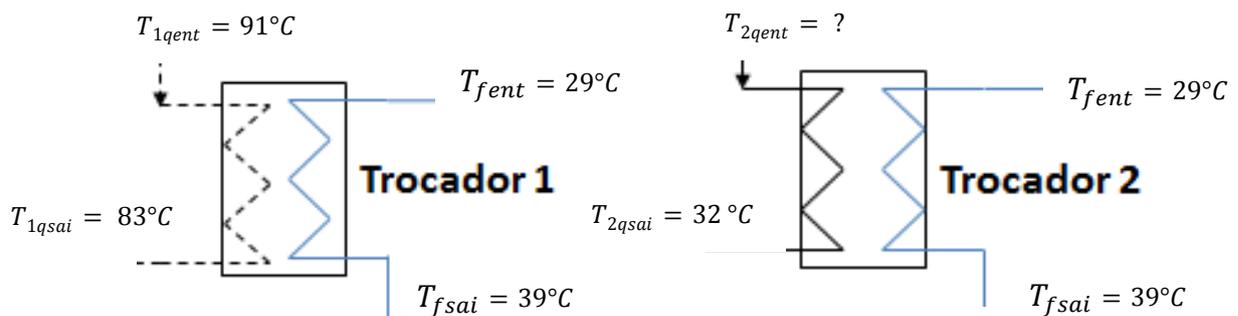
$$q = UA \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (4)$$

Onde,

- $\Delta T_1 = T_{qent} - T_{fsai}$, escoamento de fluxo contra corrente;
- $\Delta T_2 = T_{qsai} - T_{fent}$, escoamento de fluxo contra corrente;
- U = coeficiente global de transferência de calor [kW/m².K], o qual segundo Incropera, Dewitt, Bergman e Lavine (2008), está em uma faixa de valores representativos entre 8,5 e 1,7 para trocadores de calor onde os fluidos envolvidos são água-água = 1,29 (Valor médio da faixa);
- A = área de troca [m²];
- q = quantidade de calor trocado na área do trocador de calor [kW];

A partir da área de troca serão escolhidos os trocadores de calor 1 e 2. A Figura 30 esquematiza os dois trocadores de calor e indicam quais as temperaturas que sabemos. Todas as temperaturas indicadas na Figura 29 foram tiradas do guia de produto do motor.

Figura 30 – Esquema de temperaturas dos trocadores de calor do laboratório



Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

As temperaturas da água do circuito externo são conhecidas devido ao fato de que uma torre de resfriamento só consegue fornecer um ΔT máximo de 10°C (ΔT inerente ao processo evaporativo) e levando em conta que a água não irá resfriar a uma temperatura abaixo da temperatura ambiente, considerada 29°C , temos que a temperatura máxima que a água do circuito externo pode atingir é 39°C .

Sendo assim deveremos encontrar a vazão do fluido frio em cada trocador de calor de modo que ele proporcione o resfriamento da água do circuito interno com o ΔT máximo da torre. A vazão da torre será dada pela soma das vazões do fluido frio nos trocadores de calor.

Em ambos os trocadores de calor será considerado que todo calor que sai do fluido quente entra no fluido frio e esse calor é calculado segundo a seguinte equação:

$$\dot{q}_f = \dot{m}_f c_f (T_{fsai} - T_{fent}) \quad (5)$$

$$\dot{q}_q = \dot{m}_q c_q (T_{qent} - T_{qsai}) \quad (6)$$

$$\dot{q}_q = \dot{q}_f \quad (7)$$

Onde,

- \dot{m}_f = Vazão mássica de água fria proveniente da torre [kg/s];
- ρ = Densidade da água [kg/m^3] = 1000;
- $\dot{m}_q = \dot{Q}_q \rho$ = Vazão mássica de água quente [kg/s] = no caso do circuito de BT essa quantia é igual a 6,67, já no caso do circuito de AT é igual a 5,56;
- \dot{Q}_q = Vazão volumétrica de água quente [m^3/s] = no caso do circuito de BT essa quantia é igual a 0,00667, já no caso do circuito de AT é igual a 0,00556;
- $c_q = c_f$ = Calor específico da água [$\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$] = 4,178;
- T_{fsai} = Temperatura de saída do fluido frio [$^\circ\text{C}$] = 39°C ;
- T_{fent} = Temperatura de entrada do fluido frio [$^\circ\text{C}$] = 29°C ;
- T_{qent} = Temperatura de entrada do fluido quente [$^\circ\text{C}$] = no caso do circuito de AT essa quantia é igual a 91, já no caso do circuito de BT essa quantia deve ser encontrada;
- T_{qsai} = Temperatura de saída do fluido quente [$^\circ\text{C}$] = no caso do circuito de AT essa quantia é igual a 83, já no caso do circuito de BT essa quantia é igual a 32;

Essas equações serão utilizadas no cálculo de ambos os trocadores de calor para achar a vazão que a água da torre deve ter em cada trocador de calor.

No caso do trocador de calor 1 podemos substituir as grandezas diretamente nas equações (5), (6) e (7) e achar a vazão da água da torre nesse trocador de calor o qual é 16 m³/h.

Segundo a equação (6) o calor que sai da água do circuito de alta temperatura é 185,69 kW, usando esse valor e as temperaturas temos que a área da superfície de troca do trocador de calor 1 será 2,715 m².

O trocador de calor 1 será um do tipo placa, este possui uma área de troca dada pela seguinte equação:

$$A = L \times h \times (N - 1) \quad (8)$$

Onde,

- L = comprimento do trocador de calor [m];
- h = altura do trocador de calor [m];
- N = número de placas do trocador de calor;

Na equação da área é subtraída uma unidade do número de placas, pois a primeira placa do trocador de calor não cede calor para o fluido.

Para descobrir o comprimento e a altura do trocador de calor foi realizada uma pesquisa no site da Alfa Laval e a partir da vazão desejada no trocador de calor foi escolhido o trocador de calor tipo placa AlfaNova HP 76, o qual possui as seguintes características (Tabela 9):

Tabela 9 – Características do trocador de calor AlfaNova HP 76

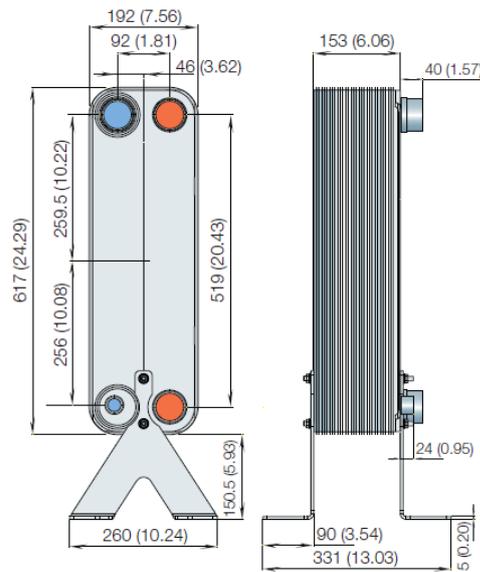
Intervalo de temperatura de trabalho [°C]	(-196) – (+150)
Pressão máx. de trabalho a 91°C* [kPa]	39000
Vazão máx. [m ³ /h]	37
Número mín. de placas	10
Número máx. de placas	230

Fonte: www.alfalaval.com

*Segundo informações do fabricante quanto maior a temperatura menor a pressão máxima suportada, por isso foi escolhida a pressão máxima de trabalho na maior

Na Figura 31 podemos ver as dimensões padrão deste trocador de calor em mm e em polegadas:

Figura 31 – Trocador de calor AlfaNova HP 76



Fonte: www.alfalaval.com

Sendo $L = 0,192$ m e $h = 0,519$ m, o trocador de calor deverá ter 28 placas para que aconteça o resfriamento do fluido.

Para dimensionar o trocador de calor 2 será preciso encontrar o valor de T_{2qent} . Antes de entrar no trocador de calor 2, a água do circuito de BT resfria o óleo lubrificante e o ar que sai do turbocompressor, recebendo uma quantidade de calor igual a 405 kW segundo o guia de produto do motor.

Usando a equação de calor sensível e considerando que todo calor que sai do óleo lubrificante e do ar do turbocompressor temos que a temperatura é dada por:

$$T_{2qent (BT)} = T_{BT(antes do motor)} - \frac{\dot{q}}{\dot{m}_q (BT) c_q (BT)} \quad (9)$$

Onde:

- $\dot{m}_q (BT) = \dot{Q}_q (BT) \rho =$ Vazão mássica do circuito de BT [kg/s] = 6,67;
- $\dot{Q}_q (BT) =$ Vazão volumétrica do circuito de BT [m³/s] = 0,00667;
- $T_{BT(antes do motor)} =$ Temperatura da água do circuito de BT antes de entrar no motor [°C] = 32 (Dada pelo fabricante do motor);
- $\dot{q} =$ Energia em forma de calor que sai do óleo lubrificante e do ar do turbocompressor para a água do circuito BT [kW] = 405;

Calculando temos que,

$$T_{qent(BT)} = 46,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

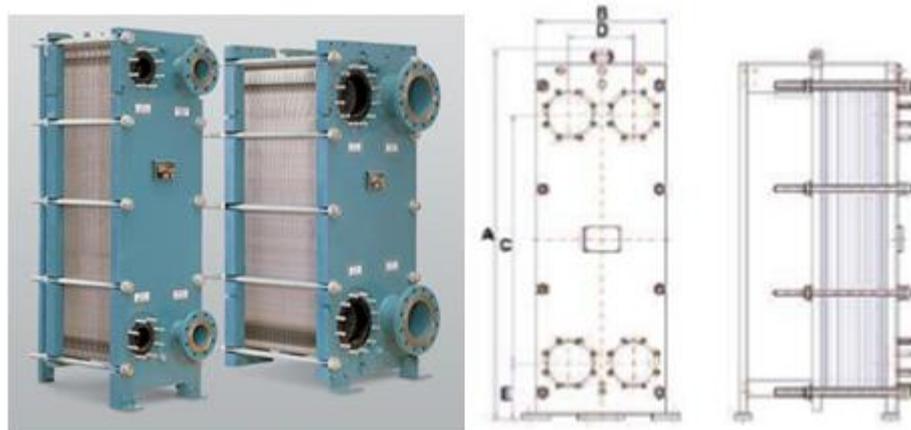
Substituindo as grandezas diretamente nas equações (5), (6) e (7) achamos que a vazão da água da torre no trocador de calor 2 deve ser de 34,9 m³/h.

Segundo a equação (6) o calor que sai da água do circuito de baixa temperatura é 404,7 kW, o qual é um valor muito próximo do calor dado no guia de produto do motor (405kW). Usando o calor resultante da equação (6) e as temperaturas, temos que a área da superfície de troca do trocador de calor 2 será 63,7 m².

A área de troca do trocador de calor 2 deu muito acima da área do trocador de calor 1, pois o ΔT do trocador de calor 1 é 8°C enquanto o do trocador de calor 2 essa grandeza tem um valor de 14,53°C. Além disso, a temperatura de saída do fluido quente esta abaixo da temperatura do fluido frio (8°C abaixo) necessitando de uma área maior para ocorrer à troca de calor com a vazão desejada.

Para realizar o processo de resfriamento da água do circuito de baixa será indicado o uso do trocador de calor desmontável FR 19 da Apema (Figura 32), o qual fornece uma área de troca de 66,5 m². Esse trocador de calor possui um numero máximo de placas de 350 e possui uma largura L = 0,52 m e altura aproximada h = 1,08 m, com essas dimensões iremos precisar de 114 placas no trocador de calor.

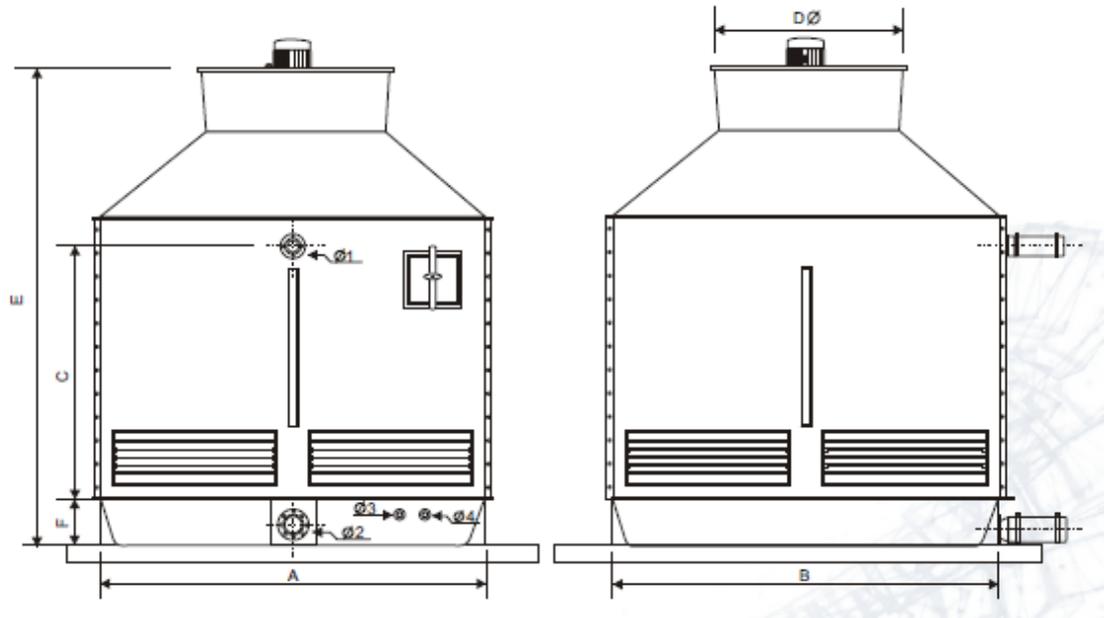
Figura 32 - Trocador de calor desmontável FR 19 da Alpema



Fonte: www.apema.com.br

A torre de resfriamento deverá fornecer uma vazão de 51 m³/h e fornecer um ΔT de 10°C. Para tal tarefa será indicado a torre de resfriamento ADC – 80 da Adecl'air (Figura 33), esta consegue resfriar água a uma vazão máxima de 54,54 m³/h.

Figura 33 - Torre de resfriamento ADC - 80 da Adecl'air



Fonte: www.adeclair.com.br

Para dimensionar a bomba do circuito externo de resfriamento do motor foi estipulado que assim como os circuitos internos de AT e de BT, a perda de carga na tubulação desse sistema, do equipamento e fornecer a pressão de entrada da torre não irá ultrapassar 120kPa (12,24 mca).

Para fornecer pressão à água do circuito externo será indicada a bomba Megabloc 50-160, a qual pode fornecer 12 mca a uma vazão de 55 m³/h. Seu rotor tem o diâmetro nominal de 160 mm e é acionada por um motor de aproximadamente 3,2 hp.

Figura 34 - Figura ilustrativa da linha Megabloc da KSB.



Fonte: www.ksb.com.br

4.6 SISTEMA DE AR DE COMBUSTÃO E DE VENTILAÇÃO

No dimensionamento do sistema de ventilação do laboratório será utilizada a NBR 8807, a qual já foi citada anteriormente neste trabalho. Essa norma é baseada na ISO 8861 – *Shipbuilding – Engine-room ventilation in diesel engine ships – Design requirements and basis of calculations*.

Segundo a norma a quantidade total de ar (q_t) a ser fornecida a praça de máquinas é calculada através da soma entre a quantidade de ar necessária ao consumo dos equipamentos (q_f) e a quantidade de ar necessária para a dissipação do calor gerado pelos equipamentos (q_v), ambos em m^3/s .

$$q_t = q_f + q_v \quad (10)$$

A quantidade de calor necessária ao consumo dos equipamentos é calculada através da seguinte equação:

$$q_f = q_h + q_g + q_p + q_o \quad (11)$$

Onde:

- q_h = quantidade de ar necessária à combustão do motor diesel principal;
- q_g = quantidade de ar necessária à combustão de motores diesel auxiliares;
- q_p = quantidade de ar necessária à combustão das caldeiras;
- q_o = quantidade de ar necessária ao consumo de outros equipamentos.

No caso do laboratório o único consumidor de ar será o motor a ser instalado, dessa maneira todos os outros itens exceto q_h serão desprezados. Esse é dado pela seguinte equação.

$$q_h = \frac{P_h q_m}{\rho} \quad (12)$$

Onde:

- P_h = Potência do motor [kW] = 800;
- ρ = Densidade do ar [kg/m^3] = 1,13;
- q_m = quantidade de ar necessária ao motor [$kg/kW.s$] = 0,00186 (Dado disponibilizado no guia de produto).

Calculando temos:

$$q_f = q_h = 1,32 m^3/s$$

Já no caso da outra parcela da quantidade de ar total, q_v , deve ser usada a seguinte equação:

$$q_v = \frac{\phi_h + \phi_g + k_p \phi_p + \phi_r + \phi_d + \phi_e + \phi_s + \phi_a + \phi_o}{\rho c \Delta T} - 0,4 (q_h + q_g) - q_p \quad (13)$$

Onde:

- ϕ_h = Calor emitido pelo motor diesel principal [kW];
- ϕ_g = Calor emitido pelos motores diesel auxiliares [kW];
- k_p = Fator de posicionamento da caldeira na praça de máquinas;
- ϕ_p = Calor emitido pelas caldeiras [kW];
- ϕ_r = Calor emitido pelas tubulações de vapor e de condensado [kW];
- ϕ_d = Calor emitido pelos geradores [kW];
- ϕ_e = Calor emitido por equipamentos elétricos [kW];
- ϕ_s = Calor emitido pelos tanques aquecidos [kW];
- ϕ_a = Calor emitido pelos dutos de exaustão dos gases e descarga [kW];
- ϕ_o = Calor emitido por outros componentes [kW];
- ρ = Densidade do ar a 35°C [kg/m³] = 1,15;
- c = calor específico do ar [kJ/kg.°C] = 1,01;
- ΔT = variação de temperatura média do ar na praça de máquinas [°C] = 12,5;
- q_h = quantidade de ar necessária à combustão do motor diesel principal [m³/s] = 1,32;
- q_g = quantidade de ar necessária à combustão de motores diesel auxiliares;
- q_p = quantidade de ar necessária à combustão das caldeiras.

Novamente teremos apenas um motor diesel no laboratório, dessa maneira a equação de q_v se reduz à:

$$q_v = \frac{\phi_h + \phi_a}{\rho c \Delta T} - 0,4 q_h \quad (14)$$

O calor emitido pelo motor diesel é calculado através da seguinte equação:

$$\phi_h = \frac{P_h U_d}{100} \quad (15)$$

Onde:

- P_h = Potência do motor [kW] = 800;

- U_d = Perda percentual por radiação = 4,5% (Valor retirado da Figura 3 dos anexos)

Já o calor emitido pelos dutos dos gases de descarga do motor é dado pela equação:

$$\phi_a = \tau_h l_h \quad (16)$$

Onde:

- τ_h = Calor emitido por metro do duto de exaustão dos gases de descarga do motor diesel principal [kW/m] = 0,25 (Valor de acordo com a curva B da figura 44 dos anexos; e para um diâmetro do duto de exaustão de 300 mm de acordo com a seção 6.2.7. deste trabalho);
- l_h = Comprimento do duto de exaustão dos gases de descarga do motor [m] = 3 (como não temos essas dimensões ainda, foi estipulado esse valor);

Fazendo os cálculos e substituindo na equação de q_v , teremos:

$$\phi_a = 0,57 \text{ kW}$$

$$\phi_h = 36 \text{ kW}$$

$$q_v = 2,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

E finalmente,

$$q_t = 3,37 \text{ m}^3/\text{h} = 12121,78 \text{ m}^3/\text{h}$$

Os ventiladores serão selecionados através do VORTEX 1.3, *software* disponibilizado pela OTAM (Organização Técnica de Assistência e Manutenção) no site da S&P Brasil Ltda. A linha de ventiladores escolhidos foi a de ventiladores axiais de pás fixas (AFR-AL) que é usada para ventilação ou exaustão industrial.

Essa linha tem uma faixa de vazão entre 1000 e 80000 m³/h, e uma faixa de pressão estática de 3 a 50 mmca. Considerando que os ventiladores irão operar a uma pressão estática de 5 mmca, ou seja, a pressão dentro do duto estará 5 mmca acima da pressão atmosférica.

O ventilador usado para a troca de ar do laboratório nessas condições será o AFR-AL 1000 CLASSE I, o qual possui as características indicadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Especificações dos ventiladores do laboratório

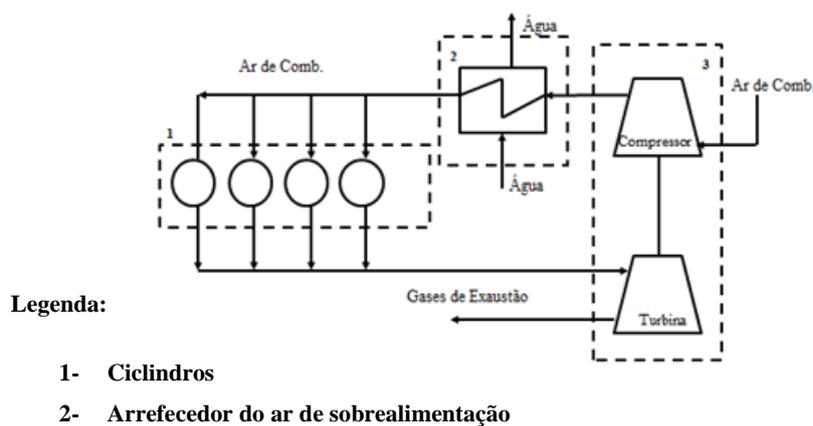
Diâmetro [mm]	1000
Velocidade de Descarga [m/s]	4,29
Rendimento [%]	65,3
Rotações [rpm]	441
Potência Absorvida [cv]	0,42
Vazão [m ³ /h]	12122

Fonte: www.solerpalau.com.br

4.7 SISTEMA DE EXAUSTÃO

Esse sistema tem a função de eliminar os gases resultantes da combustão nos cilindros do motor. Em motores com turbocompressor, esses gases são usados para movimentar uma turbina acoplada a um compressor, o qual irá comprimir o ar de combustão antes da entrada dele nos cilindros. Com a compressão a temperatura do ar irá aumentar podendo ocorrer a combustão antecipada do combustível dentro do cilindro, dessa maneira é feito um resfriamento desse ar com água no arrefecedor de ar de sobrealimentação. O sistema descrito encontra-se ilustrado a Figura 35.

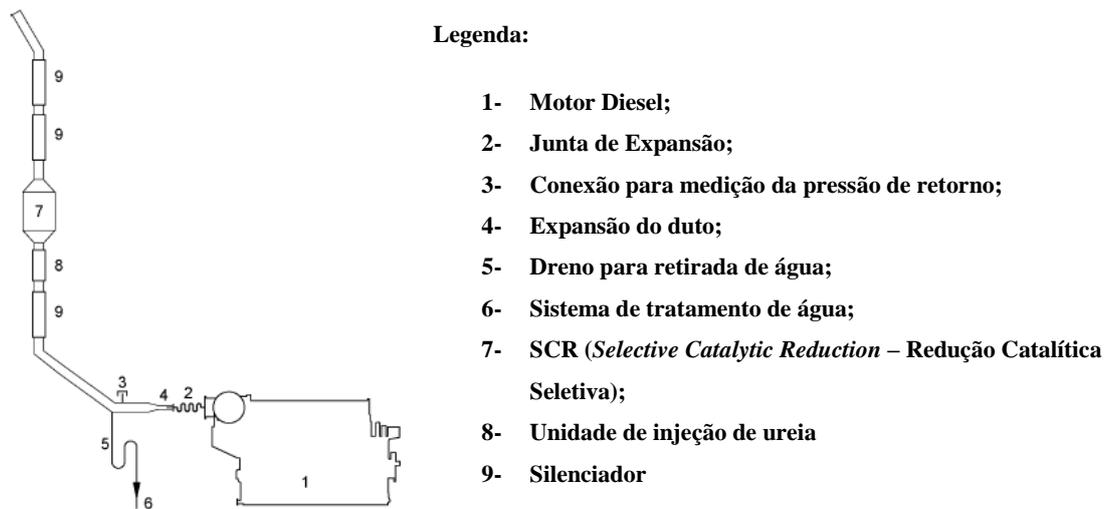
Figura 35 – Sistema interno de exaustão



Um detalhe importante relacionado pelo guia de produto é que o turbocompressor é limpo através da injeção de água. **Fonte:** Guia de Produto Wartsila 2010. Isso evita depósitos e aumento o tempo entre vistorias do turbocompressor.

Na Figura 36, tirada do guia de produto do motor, temos os principais componentes do sistema de exaustão do motor do LMM.

Figura 36 - Elementos do sistema de exaustão do Wartsila 20



Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

Para fazer a união entre o turbocompressor e o duto de exaustão é usada uma junta de expansão, ela compensa a expansão térmica e previne danos ao turbocompressor que podem ser causados devido à vibração.

O SCR é um processo utilizado para converter NO_x dos gases de exaustão em N₂, CO₂ e H₂O com a ajuda de um catalisador, ou seja reduzir a produção de NO_x. Antes de passar pelo catalisador é feita a adição de um redutor aos gases de exaustão, no caso da Figura 36 ureia.

O silenciador tem como objetivo atenuar o ruído provocado pelo escape do motor. Ao dimensionar o silenciador deve-se levar em conta o *layout* do sistema de exaustão, ou seja, o percurso que os gases fazem entre o motor e o silenciador deve ser levado em consideração. O silenciador pode ser instalado horizontalmente ou verticalmente. Para fluxos de velocidades máxima de 40 m/s a atenuação de ruído pode ser 25dB ou 35dB, essa grandeza é medida dentro do duto de exaustão.

O fabricante do motor recomenda que os dutos do sistema de exaustão sejam curtos, diretos e que as expansões e as curvaturas dos dutos sejam suaves de maneira a evitar pressões de retorno no duto. Essa pressão de retorno deve ser no máximo 4,0 kPa e esse valor deve ser medido pelo estaleiro durante a prova de mar e no caso desse projeto, essa pressão deve ser medida após a instalação do laboratório.

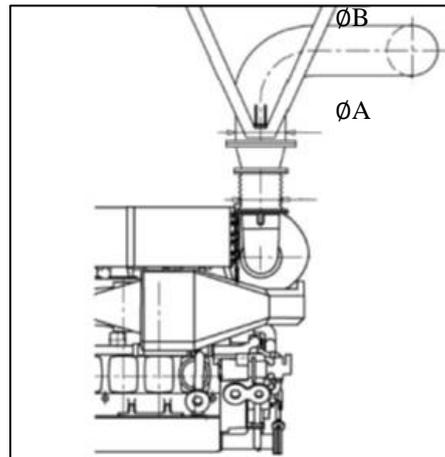
No caso das curvas dos dutos temos a restrição que o raio de curvatura não seja menor do que 1,5xØB. Esse diâmetro (ØB) inicialmente será adotado a partir da Tabela 11 fornecida no guia de produto.

A junta de expansão de diâmetro ØA indicado na Tabela 11 e ilustrado na Figura 37.

Tabela 11- Diâmetro de dutos para exaustão dos gases do motor

Motor	ØA [mm]	ØB [mm]
4 cilindros	200	300
6 cilindros	250	350 - 400
8 cilindros	250 - 300	400 - 450
9 cilindros	300	450

Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

Figura 37 – Esquema para identificação dos diâmetros dos dutos de exaustão

Fonte: Guia de Produto Wartsila 20

O fluxo de massa dos gases de exaustão pode ser convertido em velocidade a partir da seguinte equação:

$$v = \frac{4 m'}{1,3 \times \left(\frac{273}{273 + T} \right) \times \pi \times D^2} \quad (17)$$

Onde,

- m' = Fluxo de massa dos gases de exaustão [kg/s] = 1,55;
- T = Temperatura dos gases de exaustão depois do turbocompressor [°C] = 370;
- D = Diâmetro do duto de exaustão [m] = 0,3;

Calculando temos,

$$v = 39,7 \text{ m/s}$$

Segundo a Wartsila, essa velocidade deve estar entre 35 m/s e 40 m/s.

Todo o comprimento do duto deve ser isolado com um material apropriado com no mínimo uma espessura de 30 mm. O isolamento deve ser contínuo e protegido por uma placa de cobertura para mantê-lo intacto.

Para aproveitar o calor dos gases de exaustão poderia ser feito no laboratório a instalação de um recuperador de calor na saída desse sistema. O *Aalborg Micro* é um recuperador da Alfa Laval instalado na saída dos gases de motores diesel e turbinas a gás para geração de vapor. A Figura 38 ilustra o recuperador e a sua instalação.

Figura 38 - Recuperador Aalborg Micro da Alfa Laval



Fonte: www.alfalaval.com

O vapor gerado pode ser utilizado para geração de ar frio para o laboratório através do ciclo de refrigeração por absorção. Outra forma de utilização do vapor pode ser para geração de energia elétrica com uma turbina a vapor integrada a um alternador.

5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO LABORATÓRIO

Como já mencionado anteriormente, o LMM terá como principal objetivo dar suporte as disciplinas da área de máquinas do curso de engenharia naval além de servir como laboratório para pesquisas desenvolvidas na área.

Nas disciplinas da área de máquinas é passado para os alunos os principais sistemas presentes em uma embarcação, os componentes que fazem parte desses sistemas (bombas, motores diesel, geradores, separadores de água e óleo, compressores, trocadores de calor, etc.), passando de maneira pelo seu funcionamento e dimensionamento. Esse conteúdo é passado para os alunos através de uma quantidade de cadeiras do ciclo profissional que variam de acordo com a universidade, para essas cadeiras é imprescindível conhecimentos de termodinâmica, transmissão de calor e mecânica dos fluidos, os quais são adquiridos em cadeiras anteriores.

Na Tabela 12 a seguir encontram-se os principais tópicos abordados nas disciplinas de máquinas marítimas da UFPE e os das duas Universidades mais tradicionais de engenharia naval do Brasil, a USP e a UFRJ.

Tabela 12 – Principais tópicos abordados nas disciplinas de máquinas marítimas

PRINCIPAIS TÓPICOS ABORDADOS NAS DISCIPLINAS DE MÁQUINAS		
USP	UFPE	UFRJ
Características envolvidas no projeto da instalação propulsora do navio	Máquinas dos sistemas de embarcação (bombas, ventiladores, compressores, caldeiras, válvulas, etc.)	Introdução às instalações de máquinas e principais sistemas de propulsão
Integração motor-casco-propulsor	Motores de combustão interna (pelos tipos, características, princípios de funcionamento)	Principais sistemas presentes numa praça de máquinas de navios
Operação e dimensionamento de motores diesel para embarcações	Dimensionamento de equipamentos de sistemas auxiliares	Principais equipamentos da praça de máquinas: dimensionamento, tipos, princípio de funcionamento e normas
Análise do ciclo termodinâmico do motor	Ciclos termodinâmicos de máquinas térmicas (Otto, Diesel, Rankine, Brayton) e ciclos combinados	Ciclos termodinâmicos ideais de máquinas térmicas (Otto, Diesel, Rankine, Brayton), ciclos combinados e ciclos reais
Parâmetros que afetam no desempenho de motores	Princípios de um balanço térmico e elétrico de embarcações	Princípio de funcionamento de motores marítimos e dimensionamento

Teste de motores	Tipos, características e aplicações de sistemas propulsivos	Ensaio de rendimento e emissões
Balanceamento do motor	Integração casco-motor-propulsor	Curvas Características de motores
Vibrações	Análise de propulsores	Projeto de redes de escoamento
Sistemas auxiliares do navio	Dimensionamento e seleção de instalações propulsoras.	-
Projeto de dimensionamento de linhas do eixo propulsor	-	-

Fonte: Projetos Pedagógicos dos Cursos da UFPE, USP e UFRJ.

O suporte as disciplinas do curso será dado na forma da realização de aulas práticas expositivas ou com experimentos, de modo a desenvolver os conteúdos abordados em sala. Algumas das atividades que poderão ser desenvolvidas no laboratório estão listadas a seguir.

- Ensaio de Rendimento do motor;
- Ensaio de Emissões;
- Estudo de Combustão;
- Balanço térmico de uma praça de máquinas, metodologia aplicada ao LMM;
- Funcionamento de motores, bombas, trocadores de calor, filtros, válvulas e compressores;
- Estudo do Ciclo Diesel através da coleta de dados do motor;
- Variação de parâmetros de sistemas auxiliares para estudo do desempenho do motor;
- Estudo de vibrações;

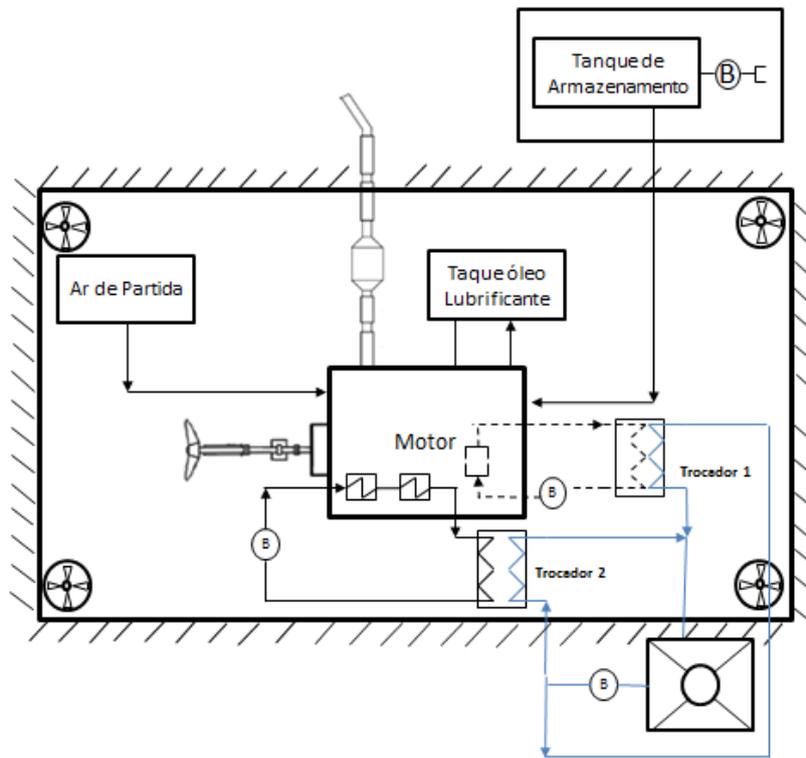
Após a consolidação do laboratório existe a possibilidade de serem oferecidas cadeiras eletivas mais específicas na área de motores diesel ou até na área de instalação de máquinas, para um maior aprofundamento dos alunos na área de máquinas. Assim como nas disciplinas obrigatórias, o LMM irá servir para realização de aulas expositivas e elaboração de trabalhos para essas disciplinas eletivas.

Inicialmente é pensado em fazer o acoplamento do motor a um alternador para geração de energia. Porém a instalação de um dinamômetro seria bastante enriquecedora para o laboratório, pois com este equipamento acoplado ao motor poderia ser feito um estudo mais aprofundado do motor, como a medição da potência do motor para diversas cargas e assim

achar a curva de potência do motor, a qual é fornecida pelo fabricante do motor e bastante utilizada no dimensionamento do sistema propulsivo de uma embarcação.

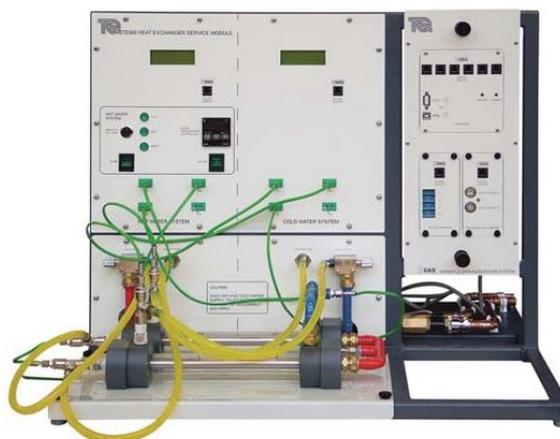
A Figura 39 mostra o fluxograma final do laboratório.

Figura 39 - Fluxograma final do laboratório



No mercado, existem várias bancadas didáticas com equipamentos para a realização de experimentos e aulas práticas de disciplinas como Mecânica dos Fluidos, Termodinâmica e Transmissão de Calor. Pode ser considerada a substituição de certos equipamentos por essas bancadas de maneira que elas passem a fazer parte do sistema do laboratório.

Para exemplificar isso podemos avaliar a substituição do trocador de calor por uma bancada didática com um trocador de calor (Figura 40). Essa bancada é um produto da empresa Nova Didacta, ela possui dois trocadores de calor permutáveis um tipo placa outro do tipo casco tubo. A bancada possui as suas especificações técnicas indicadas na Tabela 13.

Figura 40 – Bancada didática de trocadores de calor

Fonte: www.novadidacta.com.br

Tabela 13 – Especificações dos equipamentos da bancada

Potência do Aquecedor [kW]	2,7
Vazão da Bomba [l/min]	3,5
Faixa de Pressão do Sistema interno com vazão de 5 l/min [bar]	1 – 3
Área de troca dos trocadores de calor [m ²]	0,02

Fonte: www.novadidacta.com.br

Segundo a empresa podem ser realizados os seguintes estudos:

- Demonstração da transferência de calor de um fluido a outro através de uma parede sólida;
- Cálculo do Balanço energético e eficiência;
- Comparação de diferentes tipos de trocadores de calor em termos de desempenho, tamanho e custo relativo;
- Demonstração da operação do fluxo-paralelo e contra fluxo de trocadores de calor;
- Medição do coeficiente de transferência de calor e o efeito da taxa de vazão de fluidos e da diferença de temperatura sobre estes.

Pelas especificações da Tabela 13 podemos ver que a área de troca dos trocadores de calor da bancada é bem inferior ao que é necessário para resfriar a água do sistema de resfriamento.

Dito isso podem ser consideradas duas situações, uma é o desenvolvimento de uma bancada especificamente para as necessidades do laboratório. A outra seria a utilização desta bancada sem ela estar integrada ao sistema possibilitando a realização dos experimentos.

Ambas as situações irão depender dos recursos disponibilizados para a construção do laboratório.

Outro exemplo seria a substituição das bombas do motor por bancadas didáticas de ensaios de bombas, Figura 41. Essas bombas possuem as especificações da Tabela 14 a seguir e assim como o caso dos trocadores de calor, bombas mais potentes são necessárias para o laboratório, dessa maneira podemos considerar as duas situações apresentadas anteriormente para utilização da bancada no laboratório.

Figura 41 – Bancada didática para ensaios de bombas



Fonte: www.novadidacta.com.br

Tabela 14 – Especificações dos equipamentos da bancada

Dimensões da Bancada	1700mm x 600mm x 1600mm
Vazão das Bombas [l/s]	2,2
Altura manométrica total máx. [kPa]	120
Potência dos motores a 3000 rpm [kW]	0,75

Fonte: www.novadidacta.com.br

Segundo a empresa podem ser realizados os seguintes estudos:

- Desempenho e características de uma bomba centrífuga, altura manométrica versus vazão e eficiência versus vazão;
- Medição de vazão utilizando o tubo de Venturi;
- Demonstração da cavitação;
- Operação de bombas centrifugas em série; e,
- Operação de bombas centrifugas em paralelo.

Com a instalação dessas bancadas, o laboratório ainda iria desempenhar seu objetivo além de proporcionar uma gama de experimentos que poderiam favorecer a outras disciplinas pré-requisito das disciplinas de máquinas marítimas.

Outra ideia seria as bancadas serem desenvolvidas em algum projeto ou em trabalhos futuros após a instalação do laboratório. Dessa maneira essas bancadas seriam projetadas por alunos da própria universidade sob a orientação de professores da área e usando os equipamentos do sistema.

6 CONCLUSÃO

Um navio é formado por diversos sistemas, como o sistema propulsivo, sistema de óleo combustível, sistema de óleo lubrificante, sistema de arrefecimento do motor, sistema de geração de vapor, entre outros. Esses sistemas têm a função de trabalhar de maneira integrada para que a embarcação possa desempenhar sua tarefa. Cada um desses sistemas é formado por diversos componentes, como bombas, tubulações, isolamentos, válvulas, filtros, unidades centrifugas, tanques, trocadores de calor e etc., os quais têm função de transportar e condicionar os fluidos presentes nos sistemas do navio.

É importante para o engenheiro naval o bom entendimento desses sistemas e componentes, pois mesmo não sendo seu papel projetar esses componentes separadamente, é o seu papel o dimensionamento e integrar esses sistemas para que a embarcação desempenhe de maneira satisfatória.

Este trabalho teve como objetivo fazer o projeto conceitual do LMM, a qual é a primeira etapa de um projeto. Para o laboratório, nesta etapa foram definidos os sistemas e seus equipamentos, sempre pensando nas finalidades do laboratório as quais são dar suporte as disciplinas relacionadas a máquinas e desenvolver pesquisa na área.

Durante o trabalho foi tentado pensar nos sistemas de maneira que eles trabalhem para que o motor funcione durante certo tempo (realização de algum experimento para coleta de dados ou o tempo de uma aula prática das disciplinas). Dessa forma, o dimensionamento de certos sistemas presentes em um navio não é necessário, como é o caso do sistema de água doce, sistema de lastro, sistema de governo e sistema de geração de vapor.

Deve ser mencionado que o projeto deverá ser refinado passando por todas as etapas da metodologia de um projeto, ou seja, todos os cálculos devem ser refinados, os sistemas devem ser detalhados de maneira a gerar os documentos para sua construção. Fatores financeiros também devem ser levados em conta no decorrer do projeto, serão tentadas parcerias com empresas fornecedoras de equipamentos e órgãos de fomento, portanto outros fornecedores devem ser levados em consideração no projeto tentando barateá-lo para se adequar a disponibilidade de recursos financeiros do projeto.

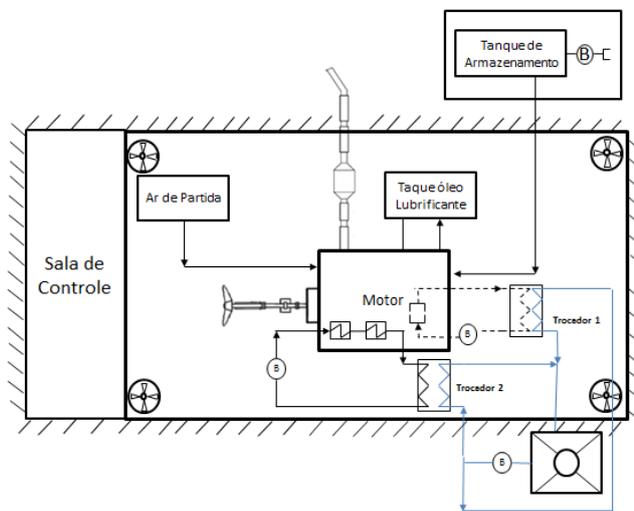
Dessa maneira podemos ver o potencial do laboratório para pesquisa e ensino, o qual irá trazer um senso prático as disciplinas da área de máquinas do curso estimulando o interesse dos alunos na área.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Uma melhoria que pode ser pensada para o laboratório é a instalação de uma sala de controle a qual ficará isolada do laboratório, como ocorre em uma praça de máquinas. Nessa sala isolada os equipamentos poderão ser controlados e parâmetros dos sistemas poderão ser lidos de dentro da sala de controle.

A Figura 42 ilustra o posicionamento da sala de controle no laboratório.

Figura 42 – Posicionamento da sala de controle do laboratório



Para termos essa sala de controle todo o laboratório deve estar bem instrumentado, dessa maneira o projeto dessa sala de controle e a instrumentação da sala devem ser feitos ainda na fase de projeto do LMM.

Um trabalho futuro mencionado durante o trabalho seria a instalação de bancadas didáticas para o estudo de equipamentos do laboratório. Essas bancadas são oferecidas por empresas, porém suas especificações são inferiores as necessidades do laboratório. Dessa maneira pode ser feita a compra de um projeto de uma bancada específica para o laboratório ou, uma solução mais interessante seria o projeto dessas bancadas ser feita por alunos do próprio curso com o auxílio de professores do curso.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRINATI, Hernani. **PNV 2324 Instalações de Máquinas Marítima**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.

INCROPERA, Frank. P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos S.A, 2008.

SOUZA JUNIOR, Gelson C.; BELCHIOR, Carlos R. P. **Simulação Termodinâmica de Motores Diesel Utilizando Óleo Diesel e Biodiesel para Verificação dos Parâmetros de Desempenho e Emissões**. In: Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 23º, 2010. Rio de Janeiro.

KYRTATOS, Nikolaos. P. et al. **The New Laboratory Facility MARTHA for Marine Propulsion Research and Development**. Hamburg: CIMAC Congress, 2001.

KYRTATOS, Nikolaos. P. et al. **Simulation of the overall ship propulsion plant for performance prediction and control**. Newcastle-upon-Tyne: MarPower '99, 1999.

MOLLAND, Anthony F. **The Maritime Engineering Reference Book a Guide to Design, Construction and Operation**. 1. Ed. Oxford: Elsevier, 2008.

MARTYR, A. J.; PLINT, M. A. **Engine Testing: Theory and Practice**. 3. ed. Oxford: Elsevier, 2007.

WOUD, Hans K.; STAPERSMA, Douwe. **Design of Propulsion and Electric Power Generation**. London: IMaeEST, 2002.

SILVA, João E. C. **Tecnologia Marítima: Equipamentos e Sistemas do Navio**. Oeiras: Escola Nautica Infante D. Henrique, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8807** - Cálculo de Ventilação para Praça de Máquinas de Embarcações Mercantes de Propulsão Diesel. Rio de Janeiro, 1985.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Projeto Político Pedagógico: Habilitação em Engenharia Naval**. São Paulo: 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia Naval**. Recife: 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Naval e Oceânica**. Rio de Janeiro: 2009.

WARTSILA. **Wartsila 20: Product Guide**. Vaasa, 2013.

ALPINA AMBIENTAL. **Separador de Água e Óleo: SPR**. São Paulo.

ATLAS COPCO. **Atlas Copco Marine Air Solutions**. Bélgica.

KSB BOMBAS HIDRÁULICAS S/A. **Manual de Curvas Características Meganorm, Megabloc e Magechem**.

MAN B&W. **The Intelligent Engine: Development Status and Prospects**.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Orientações e Procedimentos para o Manuseio e Armazenagem de Óleo Diesel B**. Brasília DF, 2010.

ALFA LAVAL. Disponível em:

<<http://www.alfalaval.com>>. Acesso em 6 de Outubro de 2015.

Bremen. Disponível em:

<www.bremenimportadora.com.br>. Acesso em 4 de Outubro de 2015.

Fuel Proof Ltda. Disponível em:

<www.fuelproof.co.uk>. Acesso em 4 de Outubro de 2015.

Nova Didacta. Disponível em:

<<http://www.novadidacta.com.br/>>. Acesso em 23 de Novembro de 2015.

Soler&Palau Ventilation Group. Disponível em:

< <http://www.solerpalau.com.br/>>. Acesso em 08 de Outubro de 2015.

Val Aço Acessório Industriais Ltda. Disponível em:

<<http://www.valaco.com.br/>>. Acesso em 08 de Outubro de 2015.

Adecl' Air Torres de Refrigeração LTDA. Disponível em:

<<http://www.adeclair.com.br/>>. Acesso em 29 de Dezembro de 2015.

ANEXO A - Tabelas do Guia de Produto do Wartsila 20

Tabela 15 - Tabela do Guia Técnico do Wartsila 20 de 4 cilindros

Wärtsilä 4L20		ME IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	ME IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2
Cylinder output	kW	200	185	200	200	185	200
Engine speed	RPM	1000	900	1000	1000	900	1000
Engine output	kW	800	740	800	800	740	800
Mean effective pressure	MPa	2.73	2.8	2.73	2.73	2.8	2.73
Combustion air system (Note 1)							
Flow at 100% load	kg/s	1.55	1.37	1.49	1.5	1.38	1.5
Temperature at turbocharger intake, max.	°C	45	45	45	45	45	45
Temperature after air cooler (TE601)	°C	50...70	50...70	50...70	50...70	50...70	50...70
Exhaust gas system (Note 2)							
Flow at 100% load	kg/s	1.55	1.42	1.55	1.55	1.42	1.55
Flow at 85% load	kg/s	1.39	1.31	1.43	1.39	1.31	1.43
Flow at 75% load	kg/s	1.2	1.16	1.28	1.2	1.16	1.28
Flow at 50% load	kg/s	0.8	0.81	0.9	0.8	0.81	0.9
Temperature after turbocharger, 100% load (TE517)	°C	370	370	370	370	370	370
Temperature after turbocharger, 85% load (TE517)	°C	340	335	335	340	335	335
Temperature after turbocharger, 75% load (TE517)	°C	350	335	335	350	335	335
Temperature after turbocharger, 50% load (TE517)	°C	385	355	355	385	355	355
Backpressure, max.	kPa	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0
Calculated pipe diameter for 35 m/s	mm	320	306	320	320	306	320
Heat balance (Note 3)							
Jacket water, HT-circuit	kW	175	166	175	175	166	175
Charge air, LT-circuit	kW	275	251	275	275	251	275
Lubricating oil, LT-circuit	kW	130	122	130	130	122	130
Radiation	kW	33	32	33	33	32	33
Fuel system (Note 4)							
Pressure before injection pumps (PT101)	kPa	700±50	700±50	700±50	700±50	700±50	700±50
Engine driven pump capacity (MDF only)	m³/h	0.87	0.78	0.87	0.87	0.78	0.87
Fuel flow to engine (without engine driven pump), approx.	m³/h	0.69	0.64	0.7	0.69	0.64	0.7
HFO viscosity before engine	cSt	16... 24	16... 24	16... 24	16... 24	16... 24	16... 24
Max. HFO temperature before engine (TE101)	°C	140	140	140	140	140	140
MDF viscosity, min.	cSt	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Max. MDF temperature before engine (TE101)	°C	45	45	45	45	45	45
Fuel consumption at 100% load	g/kWh	197	198	199	197	198	199
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	194	195	196	194	195	196
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	194	196	197	194	196	197
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	196	203	204	196	203	204
Clean leak fuel quantity, MDF at 100% load	kg/h	3.3	3.1	3.3	3.3	3.1	3.3
Clean leak fuel quantity, HFO at 100% load	kg/h	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7
Lubricating oil system							
Pressure before bearings, nom. (PT201)	kPa	450	450	450	450	450	450
Suction ability main pump, including pipe loss, max.	kPa	20	20	20	20	20	20
Priming pressure, nom. (PT201)	kPa	80	80	80	80	80	80
Suction ability priming pump, including pipe loss, max.	kPa	20	20	20	20	20	20
Temperature before bearings, nom. (TE201)	°C	66	66	66	66	66	66
Temperature after engine, approx.	°C	78	78	78	78	78	78
Pump capacity (main), engine driven	m³/h	34	24	27	34	24	27
Pump capacity (main), stand-by	m³/h	21	21	21	21	21	21
Priming pump capacity, 50Hz/60Hz	m³/h	8.6 / 10.5	8.6 / 10.5	8.6 / 10.5	8.6 / 10.5	8.6 / 10.5	8.6 / 10.5
Oil volume, wet sump, nom.	m³	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Oil volume in separate system oil tank	m³	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1
Filter fineness, nom.	microns	25	25	25	25	25	25
Oil consumption at 100% load, max.	g/kWh	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Crankcase ventilation backpressure, max.	kPa	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Oil volume in speed governor	liters	1.4...2.2	1.4...2.2	1.4...2.2	1.4...2.2	1.4...2.2	1.4...2.2
Cooling water system							
High temperature cooling water system							

Wärtsilä 4L20		ME IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	ME IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2
Cylinder output	kW	200	185	200	200	185	200
Engine speed	RPM	1000	900	1000	1000	900	1000
Pressure at engine, after pump, nom. (PT401)	kPa	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT401)	kPa	350	500	500	350	500	500
Temperature before cylinder, approx. (TE401)	°C	83	83	83	83	83	83
Temperature after engine, nom.	°C	91	91	91	91	91	91
Capacity of engine driven pump, nom.	m³/h	20	20	20	20	20	20
Pressure drop over engine, total	kPa	90	90	90	90	90	90
Pressure drop in external system, max.	kPa	120	120	120	120	120	120
Water volume in engine	m³	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150	70...150	70...150	70...150
Low temperature cooling water system							
Pressure at engine, after pump, nom. (PT451)	kPa	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT451)	kPa	350	500	500	350	500	500
Temperature before engine, min...max	°C	25...38	25...38	25...38	25...38	25...38	25...38
Capacity of engine driven pump, nom.	m³/h	24	23	24	24	23	24
Pressure drop over charge air cooler	kPa	30	30	30	30	30	30
Pressure drop over oil cooler	kPa	30	30	30	30	30	30
Pressure drop in external system, max.	kPa	120	120	120	120	120	120
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150	70...150	70...150	70...150
Starting air system							
Pressure, nom.	kPa	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Pressure, max.	kPa	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Low pressure limit in air vessels	kPa	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Starting air consumption, start (successful)	Nm³	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

ANEXO B - Gráficos do Anexo da NBR 8807

Figura 43 - Perda percentual por radiação do motor (U_d) em função da potência do motor

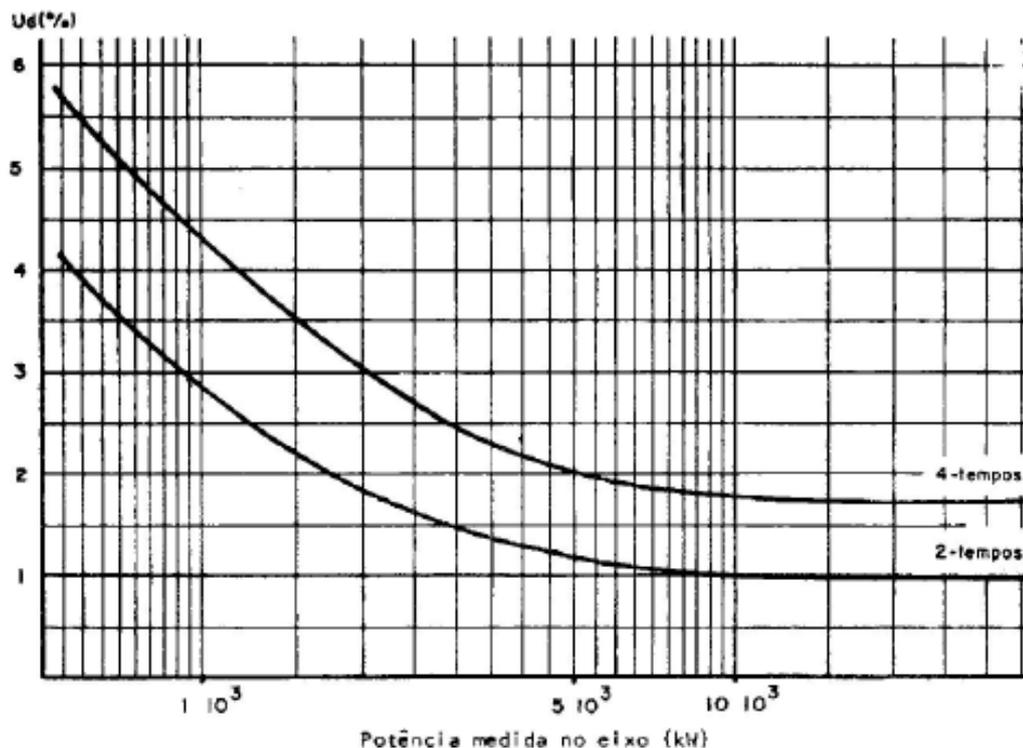
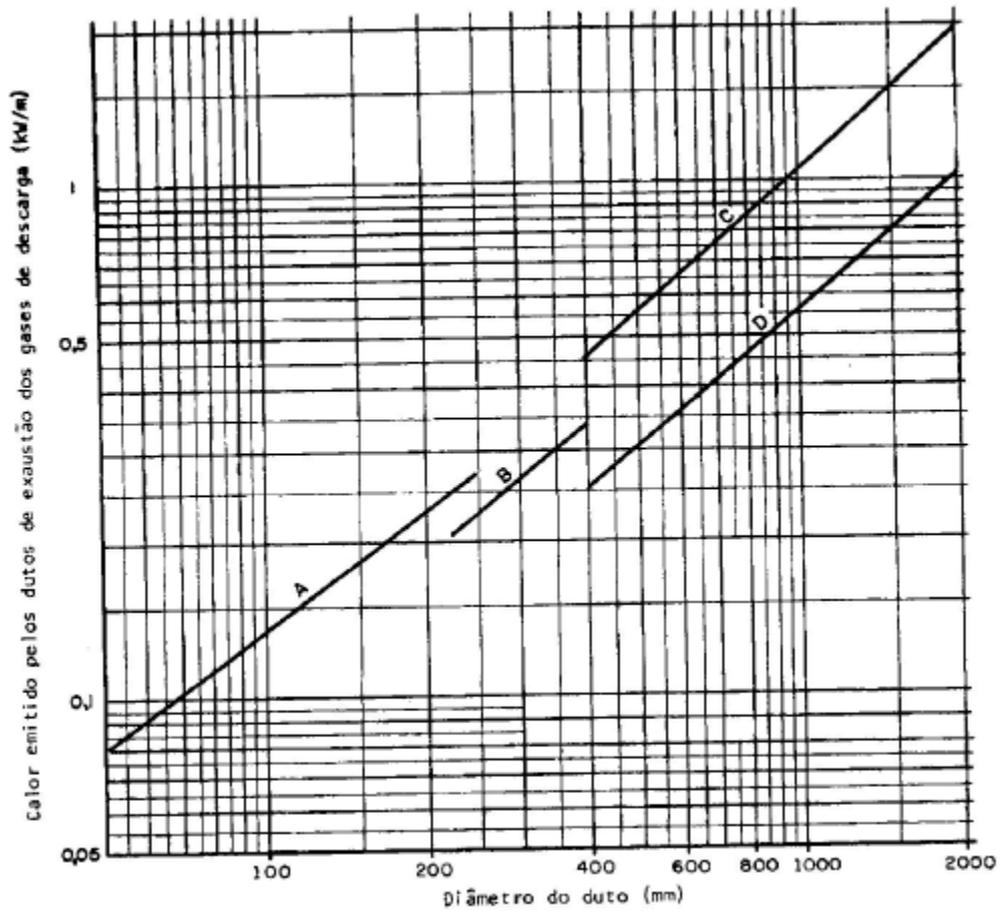


Figura 44 – Calor emitido pelos dutos de exaustão dos gases de descarga



Notas :

- a) O gráfico é baseado na diferença de temperatura de 350 °C.
- b) Curva A – 40mm de lã mineral com $\lambda = 0,038 \text{ W m.}^\circ\text{C}$.
- c) Curva B – 50mm de lã mineral com $\lambda = 0,038 \text{ W m.}^\circ\text{C}$.
- d) Curva C – 70mm de amianto e silicato de cálcio com $\lambda = 0,070 \text{ W m.}^\circ\text{C}$.
- e) Curva D – 70mm de lã mineral com $\lambda = 0,038 \text{ W m.}^\circ\text{C}$.