



MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE WANDENKOLK

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
PROPULSÃO NAVAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DA ADOÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO CODAD NO
PROJETO DAS FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ

Capitão-Tenente Leonardo de Magalhães Sousa

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
ABRIL DE 2020

ANÁLISE DA ADOÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO CODAD NO PROJETO DAS FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ

Capitão-Tenente Leonardo de Magalhães Sousa

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Orientadores:

Prof^º Alexandre Teixeira de Pinho Alho
CT (EN) Bernardo Santiago Areias

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
ABRIL DE 2020

ANÁLISE DA ADOÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO CODAD NO PROJETO
DAS FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ

Capitão-Tenente Leonardo de Magalhães Sousa

MONOGRAFIA APRESENTADA AO CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE
WANDENKOLK COMO REQUISITO PARCIAL À CONCLUSÃO DO CURSO DE
APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM PROPULSÃO NAVAL.

Examinado por:

Prof^o Alexandre Teixeira de Pinho Alho, D.Sc. – UFRJ

CC (RM1-EM) Carlos Alberto Órfão Martins, M.Sc. – CIAW

CT (EN) Bernardo Santiago Areias, Esp. – DEN

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
ABRIL DE 2020

*Dedico esse trabalho a minha esposa,
Ana Luiza de Oliveira Carvalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, ex-Comandantes e Chefes de Máquinas dos Ex-NAe São Paulo, Ex-NT Marajó e NT Almirante Gastão Motta, e meus professores e amigos por todos os ensinamentos passados ao longo da minha vida, que contribuíram para minha formação como pessoa e profissional.

*“Valeu a pena?
Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu. ”*

Fernando Pessoa

Resumo da Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

ANÁLISE DA ADOÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO CODAD NO PROJETO DAS FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ

Capitão-Tenente Leonardo de Magalhães Sousa

Abril / 2020

Orientadores: Alexandre Teixeira de Pinho Alho, D. Sc.
CT (EN) Bernardo Santiago Areias

Curso: Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval

Na década de 1960, a Marinha do Brasil decidiu pela encomenda de novos navios escolta. Sob a luz das inovações tecnológicas, foi aprovado para a construção das Fragatas Classe Niterói uma planta propulsora do tipo CODOG (Combined Diesel Or Gas) em detrimento de uma planta a vapor, como eram projetadas as outras classes de navios escolta operados pela Marinha do Brasil à época. Já na década de 1990, foram adquiridas, através de compra de oportunidade, as Fragatas Classe Greenhalgh, dotadas de planta propulsora do tipo COGOG (Combined Gas Or Gas), trazendo mais uma inovação para nossa Esquadra. Passadas várias décadas desde a construção das Fragatas Classe Niterói, várias tecnologias foram desenvolvidas e aplicadas em diversas classes de navios ao redor do mundo, consolidando o uso de diversos tipos de propulsão combinada. Desta maneira abrem-se portas para a atualização técnica da Marinha do Brasil. Faz-se necessário analisar as diversas plantas propulsoras disponíveis, de maneira a encontrar um ponto de equilíbrio entre custo de operação x versatilidade x espaço ocupado x confiabilidade para se chegar a uma solução de compromisso que atenda aos requisitos táticos e econômicos da Marinha do Brasil.

Palavras-chave: *Propulsão Combinada, CODAD, Fragata Classe Tamandaré.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Diagrama para seleção de do Sistema de Propulsão	2
FIGURA 2 -	Espiral de projeto	5
	Curva de potência requerida por velocidade do navio.	
FIGURA 3 -	Destacado as velocidades de operação do navio e os respectivos valores de potência requerida no freio.	6
FIGURA 4 -	Matriz de decisão	7
FIGURA 5 -	Primeiro arranjo dos motores Wärtsilä 12V32	8
FIGURA 6 -	Segundo arranjo dos motores Wärtsilä 12V32	8
FIGURA 7 -	Fragata Classe Vapour da Marinha Sul-Africana	9
FIGURA 8 -	Fragata Classe Niterói	11
FIGURA 9 -	Fragata Classe Tamandaré	11
FIGURA 10 -	MAN 20V28/33D, similar ao MAN 12V28/33D	13
FIGURA 11 -	MAN 9L32/44CR similar ao MAN 10L32/44CR	15
FIGURA 12 -	MAN 12V32/40	15
FIGURA 13 -	Wärtsilä 6L26 similar ao Wärtsilä 16V26	16
FIGURA 14 -	Wärtsilä 6L32 similar ao Wärtsilä 12V32	17
FIGURA 15 -	Wärtsilä 10V31	17
FIGURA 16 -	MTU 20V 1163 M74	18
FIGURA 17 -	S.E.M.T. PIELSTICK 16PA6 B STC	18
FIGURA 18 -	Caterpillar 3616	19
FIGURA 19 -	Caterpillar 12 M 32 C	19
FIGURA 20 -	Caterpillar 6 M 43 C	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	2
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.3.1	Objetivo Geral.....	3
1.3.2	Objetivos Específicos.....	3
2	METODOLOGIA.....	4
3	ANÁLISE DO PROBLEMA DA PROPULSÃO COMBINADA.....	5
4	ANÁLISE DOS NAVIOS ESCOLTA DA MARINHA DO BRASIL E CLASSE VAPOUR.....	9
5	COMPARAÇÃO DE MOTORES NA FAIXA DE 6000 kW	13
6	ESTIMATIVA DE GASTO COM ÓLEO COMBUSTÍVEL.....	23
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
	REFERÊNCIAS	27
	ANEXOS.....	29

1 INTRODUÇÃO

Desde a introdução da propulsão a motor, diversos tipos de sistema de propulsão foram desenvolvidos e utilizados, visando atender às necessidades dos navios mercantes e dos navios de guerra. Essa evolução resultou em sistemas cada vez mais eficientes e especializados (KERWIN, 2010).

Nos meios navais, o requisito de diferentes velocidades de operação, resulta em um perfil de operação diversificado, normalmente exigindo uma velocidade de cruzeiro consideravelmente menor que a velocidade máxima mantida do navio (FONSECA, 2002).

Nesse contexto, a propulsão combinada mostra-se como uma alternativa interessante, pois permite que diversos motores sejam utilizados, em diferentes arranjos operacionais, a fim de obter-se uma maior eficiência do sistema de propulsão.

Adicionalmente, a propulsão combinada proporciona um grau maior de flexibilidade e redundância, capacidades estas interessantes aos meios navais, os quais são projetados para operar em conflitos e que, conseqüentemente, podem necessitar navegar com parte do sistema de propulsão avariado (ROLL- ROYCE. Acessado em: 01 mar. 2020).

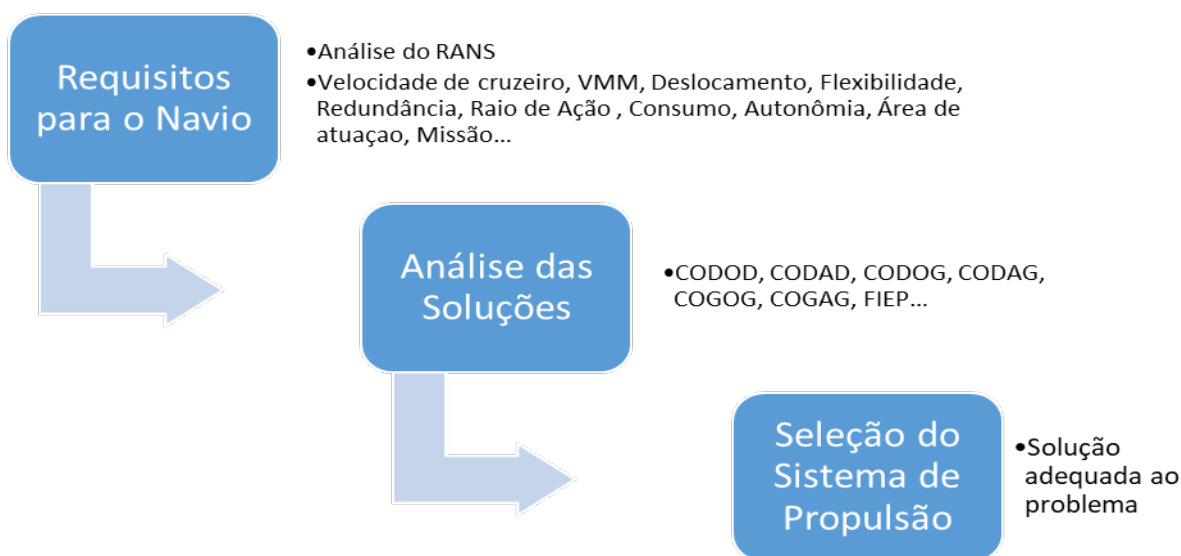
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com Kerwin (2010) a seleção de um sistema de propulsão para um determinado meio deve levar em consideração diversos fatores, sejam eles: deslocamento, espaço ocupado a bordo, custo inicial, confiabilidade, vida útil, flexibilidade, ruído, manutenção, consumo de combustível e compatibilidade com o tipo de propulsor que será utilizado, dentre outros.

Sendo assim, o trabalho de seleção do tipo de propulsão a ser utilizado em um meio começa pela definição das suas características principais através da geração do REM (Requisitos de Estado-Maior de Meios), o qual inclui a necessidade geradora, o conceito de emprego e os condicionantes. Após o estabelecimento do REM são estabelecidos os RANS (Requisitos de Alto Nível dos Sistemas) onde são estabelecidos o propósito, o emprego, as características de desempenho e as condições de aprestamento (EMA-420, 2002).

Após ser realizada a análise minuciosa dos RANS, é iniciada a espiral de projeto do navio. Durante a espiral de projeto serão determinadas e revisitadas as características cruciais para a seleção do sistema de propulsão, visando estabelecer soluções que atendam da melhor maneira possível os requisitos do meio. Por fim, é estabelecido um critério de seleção dentre as soluções que atendam aos requisitos estabelecidos no REM e no RANS (DE OLIVEIRA JÚNIOR, 2016).

FIGURA 1- Diagrama para seleção de do Sistema de Propulsão



FONTE: DE OLIVEIRA JÚNIOR, 2016

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Analisar brevemente as principais características de plantas propulsoras combinadas já existentes na Marinha do Brasil, permite determinar características básicas de operação e manutenção desejáveis a futura planta propulsora do futuro Navio Classe Tamandaré.

Desta maneira, é possível propor uma configuração CODAD (Combined Diesel and Diesel) que seja capaz de atender adequadamente as necessidades, especificações e requisitos de projeto dos novos navios escolta da Marinha do Brasil, equipando estes com o estado da arte em termos de propulsão combinada que permita economia de custos de operação e manutenção dos meios, assim como permitir flexibilidade, redundância e confiabilidade aos navios da classe.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo geral realizar levantamento sucinto das plantas de propulsão combinadas existentes na Marinha do Brasil a fim de determinar características desejáveis a uma planta de propulsão do tipo CODAD que seja adequada a ser utilizada nos novos Navios Classe Tamandaré.

Também é possível trazer atualização de conhecimento e economia de custos de manutenção e operação dos meios da Marinha do Brasil, numa conjuntura de forte contingenciamento financeiro e frente à presente obsolescência dos atuais navios escolta em serviço.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Estabelecer, sucintamente, os requisitos de potência, flexibilidade e autonomia necessários, através da análise dos navios escolta em operação na Marinha do Brasil;
- b) Propor um possível sistema de propulsão CODAD para equipar os novos navios da Classe Tamandaré na atual conjuntura de restrição orçamentaria, a partir de uma revisão de literatura.

2 METODOLOGIA

As análises desenvolvidas no presente trabalho foram desenvolvidas através de revisão bibliográfica visando levantar dados conhecidos e estabelecidos de diversos tipos de instalações propulsoras utilizadas em navios de guerra da Marinha do Brasil.

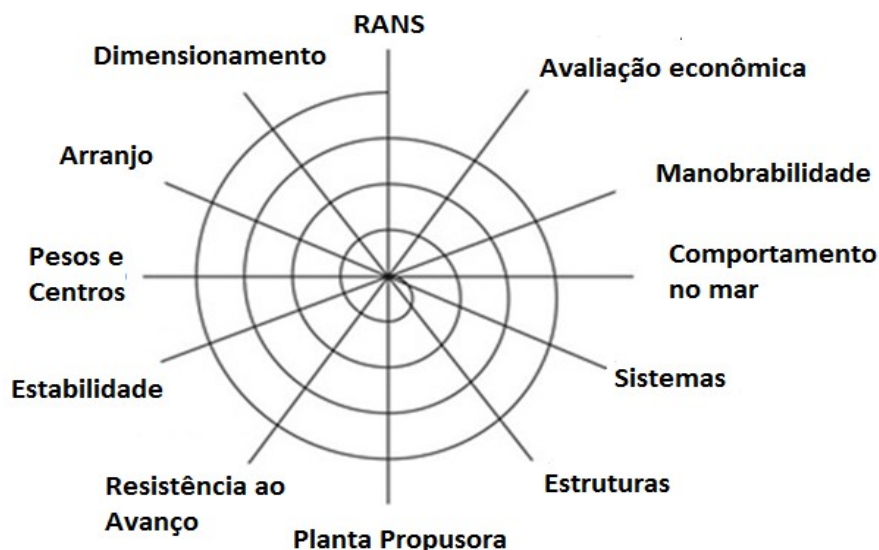
Tal análise permitiu estabelecer, no campo teórico, uma configuração de instalação propulsora combinada do tipo CODAD a ser utilizada nos futuros navios escolta da Marinha do Brasil. Os artigos e textos foram extraídos das bases de dados da área de Engenharia Naval e afins, disponíveis. Além de encaretes de motores de diversos fabricantes, disponibilizados nos sites dos mesmos.

3 ANÁLISE DO PROBLEMA DA PROPULSÃO COMBINADA

Durante o projeto de qualquer navio é necessário estabelecer requisitos básicos para que sejam buscadas soluções que os atendam. Na fase inicial, são determinados aspectos fundamentais do navio os quais são determinantes para a seleção do sistema de propulsão, sejam eles boca, deslocamento, calado, velocidade de operação entre outros.

Na Figura 2 observa-se a espiral de projeto, a qual exemplifica que no projeto de um navio é necessário repassar diversas vezes os diversos aspectos visando que todos estejam adequados entre si. Neste trabalho foi feito exclusivamente uma análise da configuração da planta propulsora.

FIGURA 2 - Espiral de projeto



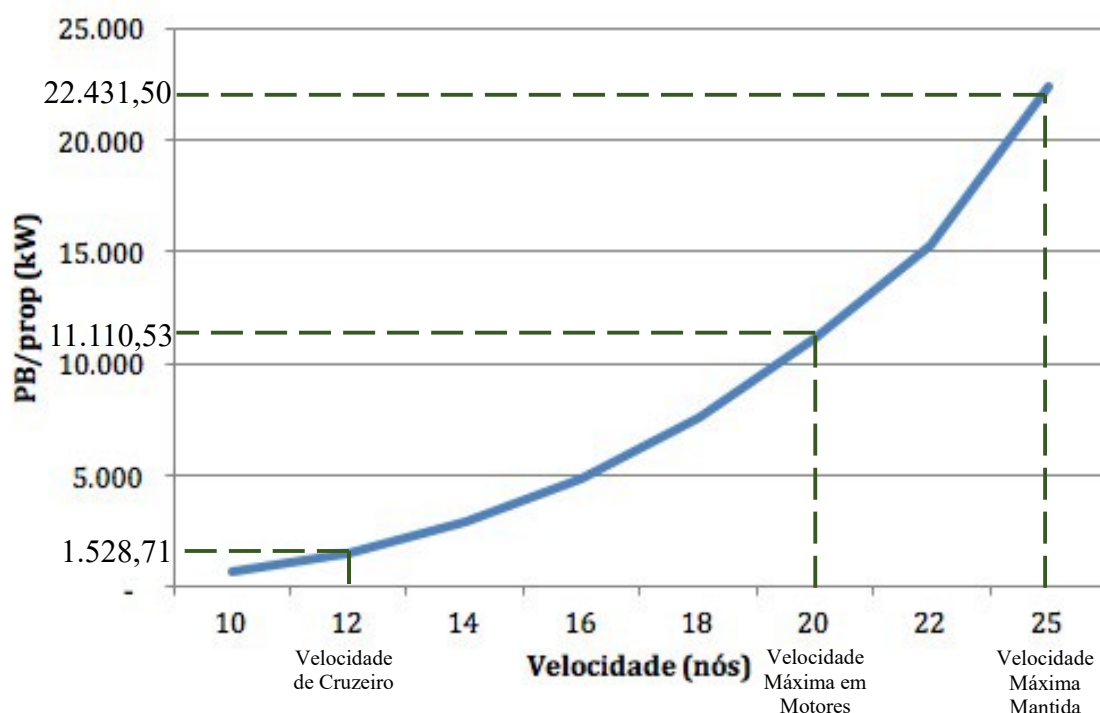
FONTE: DE OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p.71

De Oliveira Júnior (2016) em “Em Projeto De Uma Corveta Convencional E De Uma Corveta Moderna”, estudou os requisitos para o projeto de uma corveta convencional através de um RANS didático.

Por característica de operação, navios de guerra devem ser capazes de operar numa grande gama de velocidades (FONSECA, 2002). Tal necessidade, gera um perfil de operação complexo e difícil de atender com um sistema de propulsão simples devido à grande elasticidade de potência requisitada pela operação do navio. A resistência ao avanço é proporcional ao quadrado da velocidade de avanço, logo a solução utilizando propulsão combinada é comum em navios de guerra (DE OLIVEIRA JÚNIOR, 2016).

Na Figura 3, extraída e adaptada de de Oliveira Júnior (2016), é possível observar com clareza a grande elasticidade de potência requerida para operar nas velocidades de serviço estabelecidas, Velocidade de Cruzeiro, 12 nós, Velocidade Máxima em Motores, 20 nós e Velocidade Máxima Mantida, 25 nós.

FIGURA 3- Curva de potência requerida por velocidade do navio. Destacado as velocidades de operação do navio e os respectivos valores de potência requerida no freio.



FONTE: DE OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p.206.

A Figura 3 é bastante interessante para referenciar a potência requerida nos navios da classe Tamandaré pois os valores são bastante similares aos valores de velocidade máxima com dois motores, 20 nós e velocidade máxima mantida com 4 motores, 25 nós divulgados no site do Núcleo de Estudos de Defesa da Universidade Federal Fluminense (acesso em 27 mar. 2020) e 14 nós de velocidade de cruzeiro divulgada no site de imprensa especializada Defesanet (CCT- Naval. Acesso em: 27 mar. 2020), a pesar de não serem dados divulgados pela Marinha do Brasil.

O próximo passo para a seleção da planta propulsora no estudo realizado por DE OLIVEIRA JÚNIOR (2016), foi a seleção de quatro configurações as quais atingiam a potência necessária. A Tabela 1 exemplifica as quatro configurações, sendo que as duas primeiras utilizam uma turbina GE LM2500+ para atingir a velocidade máxima mantida especificada no RANS.

TABELA 1 – Seleção preliminar de planta propulsora

Opção	Modelo	Potência	Total
Planta 1	2x Wartsila 9L38 GE LM2500+	2 x 6525 + 30200	7050/30200 Kw
Planta 2	4x Wartsila 6L32 + GE LM2500+	4 x 3480 + 30200	6960/13920/30200 Kw
Planta 3	2x Wartsila 12V46F	2 x 14400	28800 Kw
Planta 4	4x Wartsila 12V32	4 x 6960	13920/27840 Kw

FONTE: DE OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p.206 e 207.

Em seguida foi gerada uma matriz de decisão para apoiar objetivamente a seleção da planta propulsora. Foram considerados pelos autores os critérios de volume da instalação, consumo de óleo combustível e óleo lubrificante, peso e redundância. O resultado foi favorável a planta 4, como pode ser observado na Figura 4 (DE OLIVEIRA JÚNIOR, 2016).

FIGURA 4 – Matriz de decisão

Critério	Volume	Comb/Lub	Peso	Redundância	NOTA
Peso	2	4	1	3	FINAL
planta 1	10	5,5	9,5	8	7,55
planta 2	9,5	5	10	10	7,90
planta 3	5	10	5	5	7,00
planta 4	8	8	8	9	8,30

FONTE: DE OLIVEIRA JÚNIOR, 2016, p.209.

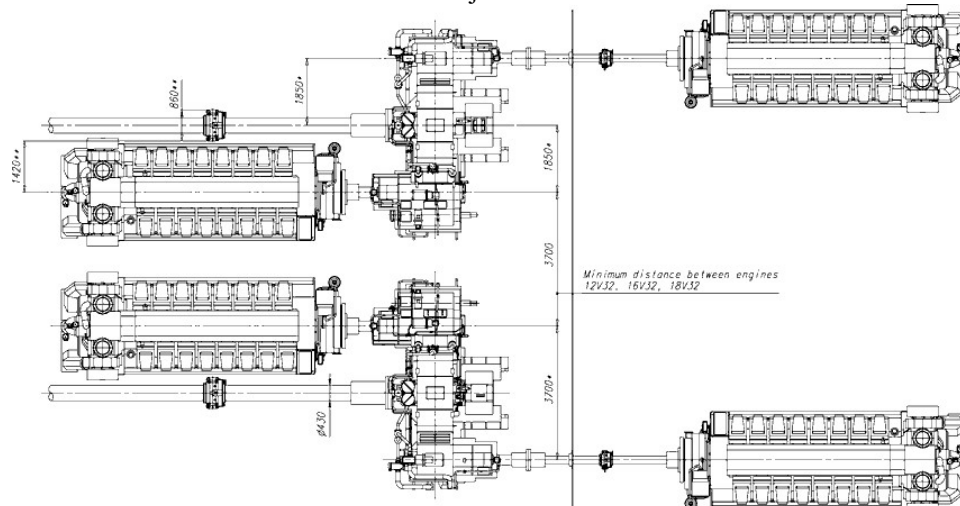
A matriz de decisão montada por De Oliveira Júnior (2016), com base no RANS didático fornecido pela Diretoria de Engenharia da Marinha, sendo adotado o peso 4 para o consumo de óleo combustível e óleo lubrificante visando reduzir os custos de operação do navio.

A segunda característica mais importante, com peso 3 foi a redundância, por se tratar de um navio de guerra. Peso e volume receberam respectivamente pesos 1 e 2 pois, por se tratar de um navio de guerra, a carência de espaço é maior do que de peso.

A partir da matriz de decisão De Oliveira Júnior (2016), verifica-se que a planta 4, composta por quatro motores Wärtsilä 12V32 em configuração CODAD foi a vencedora.

Foi verificado por De Oliveira Júnior (2016), junto ao encarte do motor Wärtsilä 12V32 que havia dois arranjos possíveis para os motores. A Figura 5 representa o primeiro arranjo que foi descartado pois exigiria que o navio tivesse uma boca maior que a de projeto do navio.

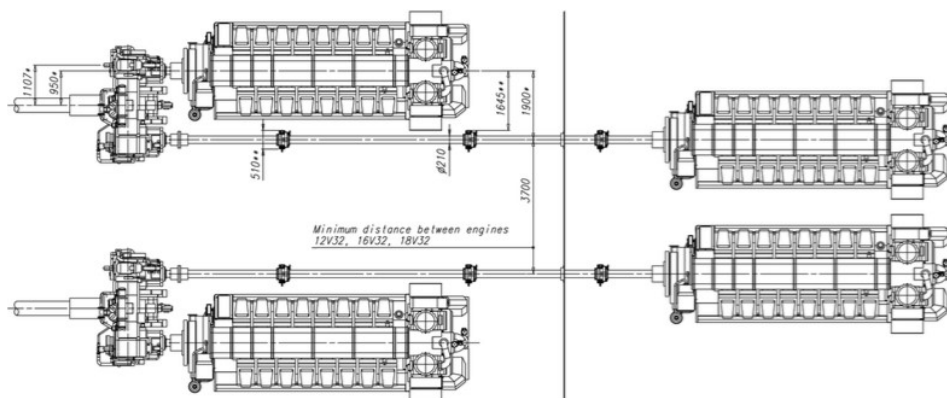
FIGURA 5- Primeiro arranjo dos motores Wärtsilä 12V32



FONTE: WÄRTSILÄ 32 PRODUCT GUIDE, 2018, p. 261.

A Figura 6 representa o segundo arranjo para os motores apresentado no encarte, o qual atende aos requisitos preliminares do projeto. Ressalta-se que além da largura dos motores é necessário respeitar o espaço necessário para a sua manutenção.

FIGURA 6- Segundo arranjo dos motores Wärtsilä 12V32



FONTE: WÄRTSILÄ 32 PRODUCT GUIDE, 2018, p. 260.

A partir dessa análise inicial constata-se que diversas soluções atendem ao problema da seleção do sistema de propulsão de um navio de guerra, logo é necessário estabelecer critérios para a seleção inicial e após isso ainda é necessário validar se as escolhas preliminares são viáveis ou se devem ser feitas alterações ou correções.

4 ANÁLISE DOS NAVIOS ESCOLTA DA MARINHA DO BRASIL E CLASSE VAPOUR

A análise das características dos atuais navios escolta em operação pela Marinha do Brasil e da classe Vapour, operada pela Marinha da África do Sul, permite que sejam gerados parâmetros de comparação para os Navios Classe Tamandaré, posto que esses novos navios representam a “renovação da Esquadra” como está na própria página da Marinha do Brasil (PROGRAMA CLASSE TAMANDARÉ. Acesso em: 01 mar.2020).

Para que fosse analisada da melhor maneira possível, foi confeccionado o Quadro 1, contendo um comparativo entre o Navios das Classes Niterói, Greenhalgh, Inhaúma e Barroso e dados de projeto da Classe Tamandaré.

Também foi incluída a classe Vapour da Marinha Sul-Africana por ser composta por navios MEKO A-200, fabricados pela Thyssenkrupp Marine Systems, empresa componente do Consórcio Águas Azuis, vencedor do processo licitatório para aquisição dos navios classe Tamandaré.

FIGURA 7 - Fragata Classe Vapour da Marinha Sul-Africana



FONTE: THYSSENKRUPP MARINE SYSTEMS BRASIL, Acessado em: 01 mar. 2020

A classe Vapour, ilustrada na Figura 7, é composta por navios de porte aproximado e por serem consideradas antecedentes pelo fabricante, são consideradas

como base para análise de novos projetos como é proposto no site da Thyssenkrupp Marine Systems (Acessado em: 01 mar. 2020).

QUADRO 1: COMPARAÇÃO DE NAVIOS ESCOLTA

Classe	FCN	FCG	CCI	CCB	Vapour	FCT
Deslocamento (ton)	3800	4500	1970	2350	3700	3455
Comprimento (m)	128,2	131,2	95,77	103,4	121,0	107,2
Boca (m)	13,5	14,8	11,4	11,4	16,3	15,95
Calado (m)	5,5	6,1	5,3	5,3	4,4	5,2
Propulsão	CODOG	COGOG	CODOG	CODOG	CODAG WARP	CODAD
Potência (kW)	4 x 2900 / 2 x 20000	2 x 7200 / 2 x 40000	2 x 2900 / 1 x 20000	2 x 4800 / 1 x 20000	2 x 5920 + 1 x 20000	4 x 6000
Velocidade Máxima (nós)	30	30	29	29	>29	26,5
Propulsor	2 hélices	2 hélices	2 hélices	2 hélices	2 hélices + 1 hidro jato	2 hélices

Legenda: FCN – Fragata Classe Niterói, FCG - Fragata Classe Greenhalgh, CCI – Corveta Classe Inhaúma, CCB – Corveta Classe Barroso, Vapour – Corveta Classe Vapour, FCT – Fragata Classe Tamandaré, CODAG WARP - CODAG Water jet And Refined Propeller

FONTE: Elaborado a partir de dados extraídos dos sites Defesanet, Wikipedia e Thyssenkrupp.

Os dados apresentados no Quadro 1 referentes às FCN, FCG, CCI e CCB foram extraídos da Wikipedia. Os dados classe Vapour foram extraídos do site da empresa fabricante, Thyssenkrupp Marine Systems e os dados referentes a classe Tamandaré foram extraídos no site Defesanet.

A partir do Quadro 1, percebe-se que, dentre os navios brasileiros, a classe Niterói, Figura 8, é a que mais se aproxima da classe Tamandaré em termos de deslocamento. Quanto à velocidade máxima de operação dos navios, a classe apresenta um valor inferior, o que influencia diretamente no valor de potência requerida da classe: 24 MW contra 40 MW da classe Niterói.

FIGURA 8 – Fragata Classe Niterói



Fonte: Marinha do Brasil, acessado em Acessado em: 01 mar. 2020

Comparando a classe Tamandaré, Figura 9, com a classe Vapour, nota-se que os motores têm potência semelhante, ressaltando, é claro, que a partir de determinada velocidade a classe Vapour utiliza adicionalmente um hidro jato acionado por uma turbina LM 2500 totalizando 32 MW, diferença que pode ser claramente observada na velocidade máxima do navio, pelo menos 3 nós maior.

FIGURA 9 – Fragata Classe Tamandaré



Fonte: Defesanet, Acessado em: 27 mar. 2020

Nos navios de propulsão CODOG ou COGOG quando estão operando com somente com a turbina a gás estão com a maior parte de sua instalação propulsora parada haja vista que sua engrenagem redutora não pode funcionar combinando a potência de todos os acionadores, constituindo assim peso e volume morto para o navio.

Embora não haja navios em operação com sistema de propulsão CODOD (Combined Diesel Or Diesel), vale o exercício de imaginar que o mesmo problema ocorreria em um navio com motores Diesel de menor potência para velocidade de cruzeiro e motores de maior potência para velocidade máxima.

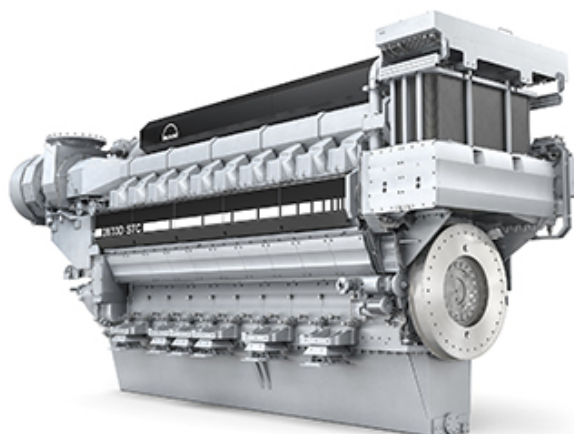
Navios com sistema de propulsão CODAD ou COGAG, a pesar de ser necessária uma engrenagem redutora mais complexa, quando o navio necessita navegar em velocidade máxima toda a sua potência embarcada estará sendo utilizada.

Além disso, caso o sistema seja composto por acionadores iguais, é possível utilizar os motores ou turbinas alternadamente, aumentando o tempo necessário para paradas de manutenção e permitindo redundância em caso de avaria que limitasse ou impedisse o uso de um dos acionadores (ANDERSON, 2013).

5 COMPARAÇÃO DE MOTORES NA FAIXA DE 6000 kW

Neste capítulo foram realizados levantamento e comparação de motores na faixa de potência de 6000 kW. Esta faixa de potência foi escolhida com base nos motores MAN 12V28/33D, que, segundo o site Defesanet serão instalados nos navios. Os motores MAN 12V28/33D serão utilizados como referência para as comparações feitas nesse capítulo.

FIGURA 10 – MAN 20V28/33D, similar ao MAN 12V28/33D



Fonte: MAN ENERGY SOLUTIONS, acessado em 27 de março de 2020

No Quadro 2, são apresentados motores Diesel de média e alta rotação na faixa de 6000 kW de potência, pré-selecionados como opções para uma análise inicial como possíveis acionadores do conjunto da propulsão. Motores de alta rotação foram escolhidos com base em 4000 horas de funcionamento por ano, tendo por base os diversos ratings fornecidos pelos fabricantes.

O motor MAN 12V28/33D é um motor com 12 cilindros em “V” de 5460 kW, entretanto a versão que será utilizada nas FCT possui uma configuração de carga diferente, denominada load profile Navy pelo fabricante, a qual permite que este atinja 6000 kW, ou seja, 500 kW por cilindro.

Pesando 37,8 t o motor MAN 12V28/33D tem uma relação peso potência de 6,3 kg/kW e tem como rotação máxima 1032 RPM. Seu consumo específico de combustível (CEC) é de 183,0 g/kWh a 85% de carga.

O CEC é uma característica de desempenho de extrema importância pois indica a eficiência do motor, leia-se, qual será a quantidade de óleo combustível gasto para cada quilowatt vezes as horas de funcionamento do motor.

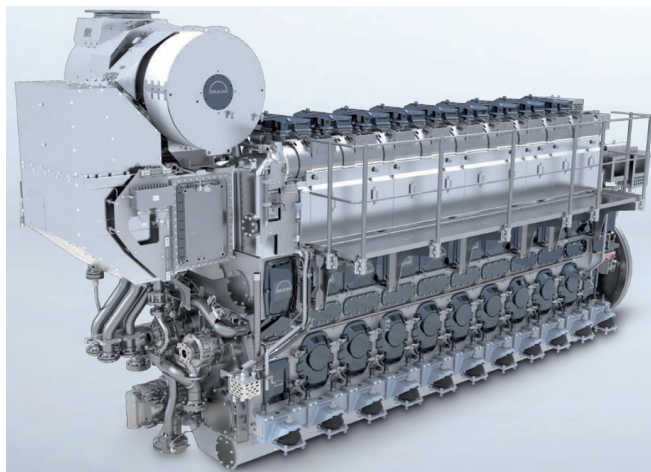
QUADRO 2- COMPARAÇÃO DE MOTORES NA FAIXA DE 6000 kW

Fabricante	MAN			Wärtsilä			MTU	S.E.M.T. PIELSTICK	CATERPILLAR		
Modelo	V28/33D Navy Profile	10L32/44CR	12V32/40	12V32	10V31	16V26	20V 1163 M74	16PA6 B STC	3616	12 M 32 C	6 M 43 C
Tipo	V	L	V	V	V	V	V	V	V	V	L
Cilindros	12	10	12	12	10	16	20	16	16	12	6
Potência	6000	6000	6000	6960	6100	5440	6000	6480	6000	6000	6000
Potência por Cilindro	500	600	500	580	610	340	300	405	375	500	1000
C (mm)	6207	8603	6915	7098	6813	6223	5327	6780	5872	6956	8271
A (mm)	3734	4369	4100	3330	4701	3170	2925	3124	3541	3524	5130
L (mm)	2473	2359	3140	2430	3115	2763	1942	2340	1871	2985	2878
Cubagem do motor (m3)	5,7	8,9	8,9	5,7	10,0	5,5	3,0	5,0	3,9	7,3	12,2
RPM Máx.	1032	750	750	750	750	1000	1250	1050	1020	750	500
MEP (bar)	28,6	27,1	24,9	28,9	30,1	24,0	*	22,8	23,9	21,6	27,1
CEC (g/kWh) 85%	183,0	172,0	182,0	178,8	167,7	190,6	208,0	*	200,0	179,0	175,0
Peso (t)	37,8	58,0	61,0	57,0	65,6	37,9	24,5	36,0	31,0	65,0	91,0
Peso/ Potência (kg/kW)	6,3	9,7	10,2	8,2	10,8	7,0	4,1	5,6	5,2	10,8	15,2
Diâmetro do cilindro (mm)	280	320	320	320	310	260	230	280	280	320	430
Curso do pistão (mm)	330	440	400	400	430	320	280	330	300	460	610
Velocidade do pistão (m/s)	*	*	*	10,0	10,8	10,7	*	*	10,5	11,0	10,2
Consumo 28 dias perfil de operação	553	520	550	541	507	576	629	**	605	541	529
Consumo + Motores	704,6	752,1	794,4	768,7	769,5	728,0	726,9	**	728,8	801,3	893,2
Volume Combustível + Motores	689,7	662,1	698,7	674,4	650,9	716,2	769,9	**	744,2	681,4	686,4

FONTE: Elaborado a partir de dados extraídos dos sites dos fabricantes.

Os motores MAN 10L32/44CR, Figura 11, e 12V32/40, Figura 12, também possuem 6.000 kW de potência, entretanto são motores de maior porte, haja vista que são motores de média rotação. Pesam respectivamente 58 t e 61 t, consideravelmente mais que o MAN 12V28/33D.

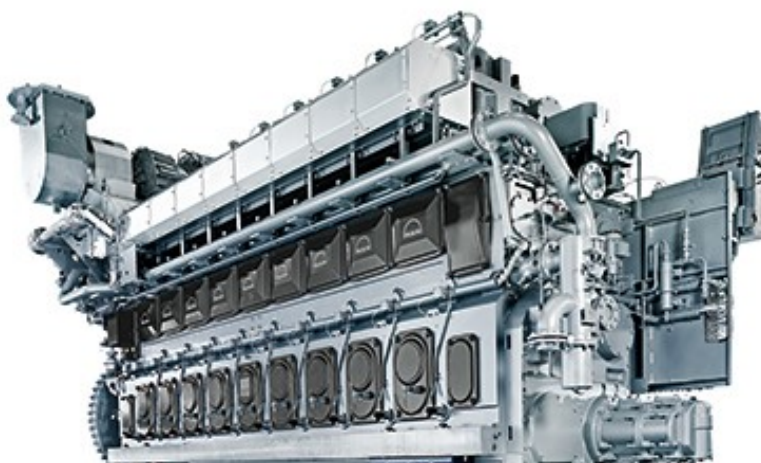
FIGURA 11 - MAN 9L32/44CR similar ao MAN 10L32/44CR



Fonte: MAN ENERGY SOLUTIONS, acessado em 27 de março de 2020

Ambos os motores 10L32/44CR e 12V32/40 são motores de média rotação, com 750 RPM de velocidade máxima. Ressalta-se que o motor MAN10L32/44CR é um motor em linha, com 2359 mm de largura, 8603 mm de comprimento e 4369 mm de altura, enquanto o motor MAN 12V32/40 que é em “V”, possui 3140 mm de largura, 6915 mm de comprimento e 4100 mm de altura.

FIGURA 12 - MAN 12V32/40



Fonte: MAN ENERGY SOLUTIONS, acessado em 27 de março de 2020

Não está no escopo deste trabalho, no entanto, é interessante comentar que a diferença de largura e comprimento entre dois motores semelhantes pode ser determinante na escolha, podendo, por exemplo, num projeto a boca é o fator impeditivo e em outro o comprimento das praças de máquinas é mais importante.

Quanto aos motores Wärtsilä, foram selecionados três modelos, todos configurados em “V”. Os motores Wärtsilä 12V32 e 10V31 são motores de média rotação, com 720 RPM de velocidade máxima enquanto o modelo 16V26 possui velocidade máxima de 1000 RPM, a pesar disso o fabricante não estipula rating de funcionamento.

FIGURA 13 - Wärtsilä 6L26 similar ao Wärtsilä 16V26



Fonte: Wärtsilä, acessado em 27 de março de 2020

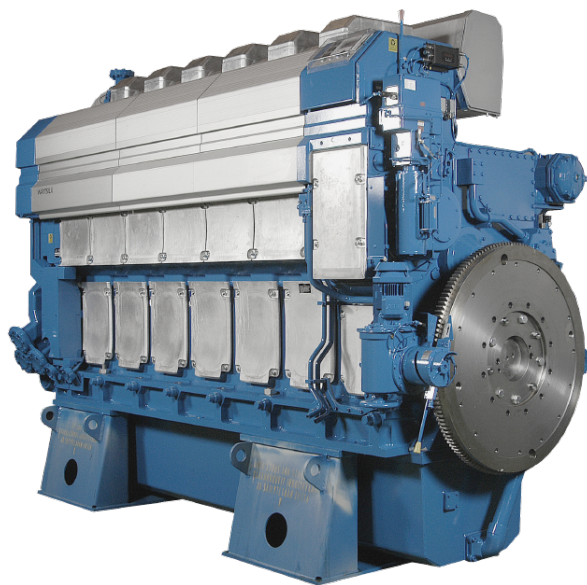
Nota-se que o motor Wärtsilä 16V26, Figura 13, é de porte bastante similar ao motor Man 12V28/33D, e tem potência de 5440 kW a 1000 RPM, enquanto o outro possui 5460 kW a 1000 RPM. É provável que o motor Wärtsilä 16V26 atingiria 6000 kW de potência caso operasse segundo um perfil de carregamento especial para aplicações militares.

Outros pontos de semelhança entre o motor MAN 12V28/33D e o motor Wärtsilä 16V26 são o comprimento, largura, altura e peso. No entanto o CEC do motor MAN 12V28/33D é menor que o motor Wärtsilä 16V26 (183,0 g/kWh x 190,6 g/kWh). O

motor Wärtsilä 12V32 também se aproxima em comprimento, altura e largura ao motor MAN 12V28/33D.

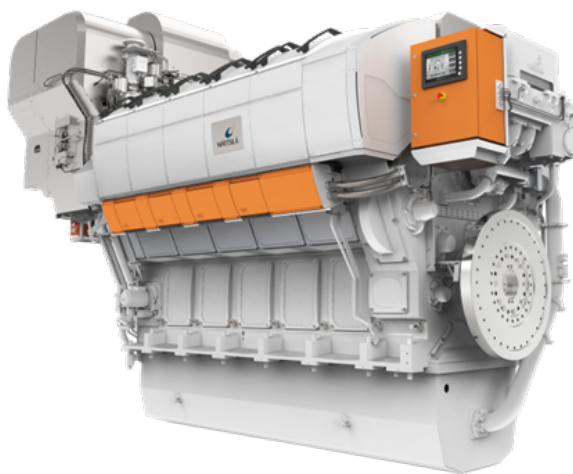
Os motores Wärtsilä 12V32, Figura 14 e 10V31, Figura 15, são motores de maior porte, 6.960 kW e 6.100 kW e pesando respectivamente 57,0 t e 65,6 t. Seus CEC são 178,8 g/kWh e 167,7 g/kWh respectivamente, sendo o motor Wärtsilä 10V31 o motor com o menor CEC dentre os motores pesquisados.

FIGURA 14 - Wärtsilä 6L32 similar ao Wärtsilä 12V32



Fonte: Wärtsilä, acessado em 27 de março de 2020

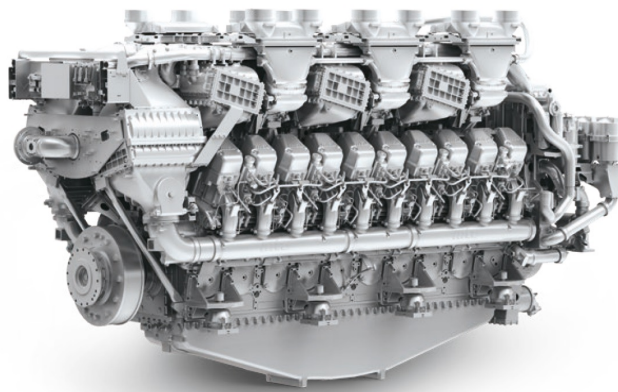
FIGURA 15 - Wärtsilä 10V31



Fonte: Wärtsilä, acessado em 27 de março de 2020

O motor MTU 20V 1163 M74, Figura 16, com as menores dimensões dentre os pesquisados. Possui 6.000 kW de potência na versão de rating 1B, definido pelo fabricante em seu catálogo como carga usual de trabalho entre 60% e 80% com tipicamente 5.000 horas de funcionamento anual.

FIGURA 16 - MTU 20V 1163 M74

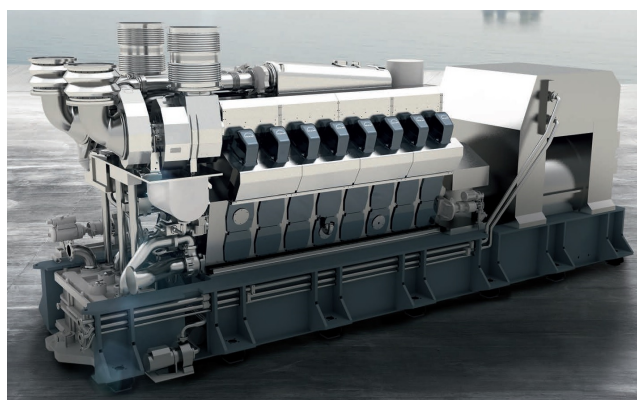


Fonte: MTU Solutions. Acesso em 27 mar. 2020.

Outro ponto de destaque do motor MTU 20V 1163 M74 é que este tem como velocidade máxima 1250 RPM e seu baixo peso, 24,5 t. Apesar das boas características elencadas acima o CEC deste motor é o maior dentre os motores analisados, 208,0 g/kWh.

O motor MTU 16V 1163 M94 em sua versão de rating 1DS não foi incluído no quadro comparativo, apesar de possuir potência de 5.920 kW, pois seu uso médio deverá ser a menos de 60% da potência máxima e limitado a 1500 horas anuais.

FIGURA 17 - S.E.M.T. PIELSTICK 16PA6 B STC



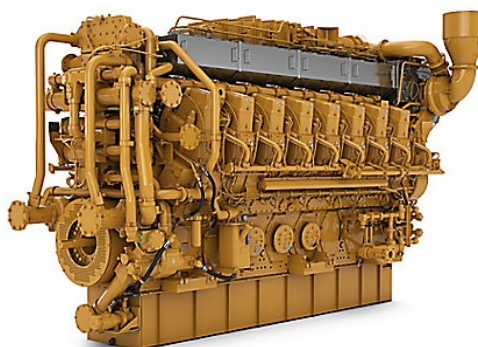
Fonte: MAN ENERGY SOLUTIONS. Acesso em 27 mar. 2020.

O motor S.E.M.T. PIELSTICK 16PA6 B STC, Figura 17, fabricado pela MAN e por outras empresas que possuem a licença de produção, é empregado em navios de diversas marinhas. A análise deste motor ficou comprometida pois não é divulgado pela MAN o seu CEC.

Outras características notáveis do motor S.E.M.T. PIELSTICK 16PA6 B STC são sua potência de 6.480 kW a 1.050 RPM, seu peso de 36,0 t, comprimento de 6.780 mm, 3.124 mm de altura e 2.340 mm de largura.

A Caterpillar fabrica três motores de 6.000 kW, 3616, 12 M 32 C e 6 M 43 C, pesando respectivamente 31,0 t, 65,0 t e 91,0 t, respectivamente. Os motores 12 M 32 C e 6 M 43 C são originalmente motores MaK, que foi adquirida pela Caterpillar em 1997 (MAK MED. Acesso em: 01 mar. 2020).

FIGURA 18 – Caterpillar 3616

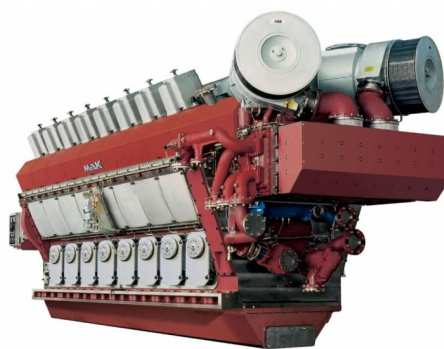


Fonte: CATERPILLAR MARINE ENGINES. Acesso em 27 mar. 2020.

Os motores Caterpillar 3616, 12 M 32 C e 6 M 43 C são representados nas Figuras 18, 19 e 20, respectivamente.

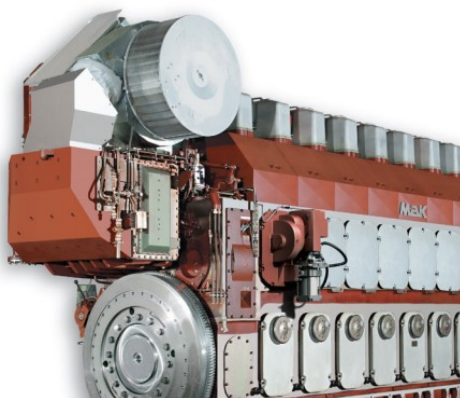
Após a seleção dos motores para esse estudo, foi confeccionado o Quadro 2, para que pudessem ficar claras as diferenças entre os motores e fossem estabelecidos os parâmetros de comparação.

FIGURA 19 – Caterpillar 12 M 32 C



Fonte: CATERPILLAR MARINE ENGINES. Acesso em 27 mar. 2020.

FIGURA 20 – Caterpillar 6 M 43 C



Fonte: CATERPILLAR MARINE ENGINES. Acesso em 27 mar. 2020.

O espaço ocupado pelos motores em praça de máquinas foi estimado, de forma simplificada, considerando a forma geométrica de um bloco com as dimensões máximas de comprimento, altura e largura de cada motor, segundo informações fornecidas pelos fabricantes. O menor motor nesse requisito foi o MTU 20V 1163 M74, ocupando meros 3,0 m³, comparado a 5,7 m³ do MAN 12V28/33D e 12,2 m³ do Caterpillar 6 M 43 C. Segue abaixo a fórmula utilizada para a estimativa:

$$\text{Volume do motor} = C \times A \times L \times 10^{-9} \text{ [m}^3\text{]}$$

Foi também estabelecido um critério de peso/potência, utilizando somente o peso dos motores para que fosse possível avaliar o quanto haveria de penalização para os motores de média rotação.

De maneira geral, o motor com a menor relação peso/potência é o MTU 20V 1163 M74 com 4,1 kg/kW enquanto o motor MAN 12V28/33D possui uma relação de 6,3 kg/kW. Dentre os motores de média rotação o motor Wärtsilä 12V32, possui a melhor relação, 8,2 kg/kW.

Foi também comparado o CEC. Os motores de alta rotação, por característica inerente a sua concepção, possuem um CEC maior que os motores de média rotação, entretanto, estes pesam consideravelmente mais que os de alta rotação.

Para analisar qual seria o peso total dos motores acrescido do total de combustível utilizado num período de 28 dias, autonomia máxima do navio, foi estimado, através de um perfil de operação suposto: utilizado um perfil de operação genérico: 20% do tempo com potências entre 0 e 600 kW, 70% do tempo entre 600 e 4200 kW e 10% do tempo entre 4200 e 6000 kW.

Para estimativa de carga média dos motores foi utilizado a seguinte fórmula:

$$\text{Carga média do motor} = 20\% \times \frac{0+600}{2} + 70\% \times \frac{600+4200}{2} + 10\% \times \frac{4200+6000}{2} \text{ kW}$$

Para a estimativa do consumo de óleo combustível num período de 28 dias foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Consumo em 28 d} = 2 \text{ motores} \times 28 \text{ d} \times 24 \text{ h} \times \text{CEC} \times \text{Carga média do motor} \times 10^{-6} \text{ [t]}$$

Para a estimativa do peso total dos quatro motores mais o óleo combustível consumido num período de 28 dias de operação foi utilizado a seguinte fórmula:

$$\text{Consumo} + \text{motores} = 4 \times \text{peso do motor} + \text{Consumo em 28 dias [t]}$$

Foi considerado o CEC a 85% ou no ponto ótimo de operação, de acordo com o valor fornecido por cada fabricante, logo, espera-se que os valores estejam estimados a menor, pois é provável que seja o ponto mais eficiente de funcionamento dos motores nesse trabalho. O motor S.E.M.T. PIELSTICK 16PA6 B STC não pode ser avaliado pois a MAN não divulga seu CEC.

A comparação do consumo de OC (óleo combustível) acrescido do peso dos motores, embora extremamente dependente do perfil de operação do navio, indica que os motores de alta rotação, mesmo consumindo mais óleo combustível, apresentam pesos totais menores que os motores de média rotação.

Outra constatação a partir da comparação do consumo de OC acrescido do peso dos motores é que as quantidades de OC são mais significativas que o peso dos motores quando comparadas ao deslocamento do navio, cerca de 16% contra 4%, utilizando consumo estimado do motor MAN 12V28/33D como referência.

Após a análise dos dados de comparação do consumo de OC acrescido do peso dos motores estimado qual seria o volume do navio ocupado pelo OC. Para tal foi utilizada a densidade do óleo combustível marítimo para turbinas, 0,83 t/m³ na estimativa:

$$\text{Volume do óleo combustível} = \frac{\text{Consumo em 28 dias}}{\text{densidade do OC}} \text{ [m}^3\text{]}$$

A partir da massa de óleo combustível estimada anteriormente para um período de operação de 28 dias e adicionando o volume estimado anteriormente para quatro motores, chegou-se ao volume total necessário para abarcar o sistema, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Volume dos motores} + \text{OC} = \text{Volume de OC} + 4 \times \text{volume do motor} \text{ [m}^3\text{]}$$

O motor Wärtsilä 10V31 acrescido do OC para 28 dia de autonomia ocuparia 650,9 m³, 19,3% do volume deslocado pelo navio, enquanto, na mesma situação o motor MAN V28/33D ocuparia 689,7 m³, 20,4% uma diferença considerável.

Utilizando essa métrica o motor MTU 20V 1163 M74, apresentou um resultado ruim, ocupando, junto com o óleo combustível 769,9 m³, 22,8% do volume deslocado. Para estas estimativas foi considerada a densidade da água salgada como 1,025 t/m³ segundo a seguinte fórmula:

$$\% \text{ volume deslocado} = \frac{\text{volume dos motores} + \text{OC}}{\text{deslocamento do navio}} \times \text{densidade da água salgada}$$

Percebe a partir da estimativa do percentual de volume deslocado que caso o fator limitante do projeto seja o volume ocupado no casco, pode ser que um motor de média rotação ofereça uma solução mais adequada, no entanto, não foi considerado o espaço extra em praça de máquinas necessário a motores maiores.

6 ESTIMATIVA DE GASTO COM ÓLEO COMBUSTÍVEL

Considerando que, na operação dos navios de guerra, um dos maiores custos é com óleo combustível faz-se mister estima-los para poder estabelecer, pelo menos nesse aspecto qual dos motores apresentados no capítulo 5 seria o mais econômico. O Quadro 3 apresenta as estimativas de custo confeccionadas para este trabalho.

QUADRO 3 - ESTIMATIVA DE GASTO COM ÓLEO COMBUSTÍVEL

Fabricante	MAN			Wärtsilä			MTU	S.E.M.T. PIELSTICK	CATERPILLAR		
Modelo	V28/33D Navy Profile	10L32/ 44CR	12V32 /40	12V32	10V31	16V26	20V 1163 M74	16PA6 B STC	3616	12 M 32 C	6 M 43 C
Consumo diário (t)	19,8	18,6	19,7	19,3	18,1	20,6	22,5	**	21,6	19,3	18,9
Custo diário	95,2	89,5	94,7	93,1	87,3	99,2	108,3	**	104,1	93,2	91,1
Custo anual (milhões)	14,3	13,4	14,2	14,0	13,1	14,9	16,2	**	15,6	14,0	13,7
Custo vida útil (milhões)	571,5	537,1	568,4	558,4	523,7	595,2	649,6	**	624,6	559,0	546, 5

FONTE: Elaborado a partir de dados extraídos dos sites dos fabricantes.

Para o cálculo do consumo diário foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Consumo por dia de mar} = 2 \times 24 \text{ h} \times \text{CEC} \times \text{carga média do motor} \times 10^{-3} [\text{t}]$$

Para a estimativa do custo do dia de mar de um navio foi suposto o mesmo perfil de operação do capítulo 5 e estipulado um valor teórico de R\$ 4,00 reais por litro de OC, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Custo do dia de mar} = \frac{\text{consumo por dia de mar} \times \text{custo do OC}}{\text{densidade do OC}}$$

Para a estimativa do custo anual foi utilizada a seguinte fórmula, considerando 150 dias de operação por ano:

$$\text{Custo anual} = \text{custo do dia de mar} \times \text{dias de operação anuais}$$

Para a estimativa do custo de OC durante a vida útil do navio, foram considerados 40 anos como referência:

$$\text{Custo vida útil} = \text{custo anual} \times \text{vida útil}$$

A partir do Quadro 3 constata-se que além de ser uma questão técnica de eficiência e desempenho, o CEC também tem grande influência no custo de vida do navio. As diferenças entre o motor mais econômico, Wärtsilä 10V31 e o menos econômico, o motor MTU 20V 1163 M74 chegam a aproximadamente R\$ 126 milhões de reais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seleção da planta propulsora é parte vital para o sucesso do projeto de um navio, especialmente para navio de guerra, os quais possuem demandas como grande elasticidade de potência, redundância e pequeno espaço disponível.

Tão vital quanto complexa, é importante salientar que a proposição de um sistema de propulsão combinada e posterior seleção dos acionadores depende de inúmeros fatores, muitos dos quais só podem ser abordados em um projeto completo.

A utilização de um sistema CODAD possibilita diversas vantagens como economia de custos de construção e operação de equipamentos mais simples, flexibilidade e redundância no acionamento dos eixos, o revezamento dos motores permite espaçar o tempo entre as revisões e facilidade de acesso a instalações de manutenção caso sejam motores comuns em navios mercantes.

Dentre os motores apresentados no capítulo 5 podemos destacar três: MAN 12V28/33D, Wärtsilä 10V31 e MTU 20V 1163 M74. O motor MAN 12V28/33D apresenta-se como um motor equilibrado, com desempenho médio ou superior na maioria das características abordadas.

O motor Wärtsilä 10V31 é o maior motor dos três apresentados como possibilidades. Sua maior vantagem é possuir baixo CEC, que pode ser abordado como menor necessidade de carga de óleo combustível ou maior autonomia ou menor custo de operação, conforme necessidade do projeto.

O motor MTU 20V 1163 M74 foi o menor motor abordado, logo possui a maior densidade de potência, entretanto, como foi demonstrado no capítulo 5 seu CEC é tão maior que para grandes autonomias talvez fosse melhor a escolha de um motor mais econômico e conforme apresentado no capítulo 6 o seu custo com combustível seria aproximadamente 24% que o motor Wärtsilä 10V31.

Infelizmente não foi possível levantar dados relativos a custos de aquisição e manutenção ao longo da vida útil dos motores. Também não foi possível adquirir dados sobre a manutenção dos motores abordados nesse estudo, ambos aspectos de extrema relevância para a seleção dos acionadores.

Considerando os altos gastos com combustíveis na operação dos navios, e frente as fortes restrições orçamentárias que a Marinha do Brasil vem sofrendo ao longo dos últimos anos, é cada vez mais importante minimizar custos com aquisição, manutenção e operação.

Haja vista que não foi possível levantar custos de aquisição e operação e no intuito de propor uma solução ao problema proposto nesse trabalho e devido as grandes principalmente as grandes diferenças de custo de operação dos motores, considero o motor Wärtsilä 10V31 como o mais adequado.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, T.J. **Operational profiling and statistical analysis of Arleigh Burke-class destroyers**. Thesis. Mechanical Engineering. 2013.

CAT. Marine Power Systems. Disponível em: <https://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/marine-power-systems.html>. Acesso em: 27 mar. 2020.

CCT - Projeto “Classe Tamandaré” Marinha do Brasil seleciona a Melhor Oferta. Disponível em: <<http://www.defesanet.com.br/cct/noticia/32446/CCT---Projeto-%E2%80%9CClasse-Tamandare%E2%80%9D-Marinha-do-Brasil-seleciona-a-Melhor-Oferta/>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

DE OLIVEIRA JÚNIOR, J. L.; BIZARRO, R. M.; DE OLIVEIRA, R. C.; DA SILVA, R. F. N. R. C.; DOS SANTOS, T. L. C.; MARCHIONE, T. de S. L. **Projeto de uma corveta convencional e de uma corveta moderna**. 2016. 579f. Relatório apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito da disciplina PNV2512, São Paulo, 2016.

FONSECA, M. M. **Arte Naval**. Serviço de Documentação da Marinha. Volume I. 6ª edição, 2002.

KERWIN, J. E.; HADLER, J. B. **Propulsion**. In: The principles of naval architecture series. EUA, 1ª first print, 2010.

MAN. Energy Solutions. Disponível em: <<https://marine.man-es.com/four-stroke/engines>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

MAK MED. Disponível em: <<https://www.makmed.fr/en/about-us/brandhistory/>>. Acesso em: 01 mar. 2020.

MTU- Solutions. Disponível em: <<https://www.mtu-solutions.com/eu/en/products/commercial-marine-products-list.html>>. Acesso em: 27 mar.2020.

NORMAS PARA LOGÍSTICA DE MATERIAL, EMA-420, Marinha do Brasil, 2ª revisão, 2002.

NÚCLEO DE ESTUDOS DE DEFESA da Universidade Federal Fluminense. MB inicia segunda etapa para obtenção das Corvetas Classe “Tamandaré”. Disponível em: <<http://www.defesa.uff.br/index.php/noticias/20-produtos-de-defesa-brasileiros/393-marinha-do-brasil-inicia-segunda-etapa-para-obtencao-das-corvetas-classe-tamandare>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

PROGRAMA CLASSE TAMANDARÉ. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/programa-classe-tamandare>>. Acesso em: 01 mar. 2020.

ROLL- ROYCE. Hybrid propulsion for naval vessels. Disponível em: <<https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/insights/2018/richard-partridge-on-hybrid-propulsion-for-naval-vessels.aspx>>. Acesso em: 01 mar. 2020.

THYSSENKRUPP MARINE SYSTEMS BRASIL. Disponível em: <<https://www.thyssenkrupp-brazil.com/pt-br/empresa/areas-de-negocio/marine-systems/embarcacoes-navais-de-superficie/>>. Acesso em: 01 mar. 2020.

WÄRTSILÄ 32PRODUCT GUIDE. Versão22. 2018.

ANEXO I – Especificações do motor MAN 12V28/33D

All data provided in this document is non-binding. This data serves informational purposes only and is not guaranteed in any way. Depending on the subsequent specific individual projects, the relevant data and determined individually for each project. This will depend on the particular characteristics of each individual project, especially specific site and operational conditions. Copyright © MAN Diesel & Turbo. D23T

General

- Engine cycle: Four-Stroke
- No. of cylinders: 12, 16, 20
- Bore: 280 mm – Stroke: 330 mm
- Swept volume per cyl: 20.3 dm³

Fuel consumption at 85 % MCR

- SFOC: 183.0 g/kWh

Cylinder output (MCR)

- At 1000 rpm: 455 kW
- At 1032 rpm: 500 kW
- Power-to-weight ratio: 5.8 – 6.9 kg/kW

Compliance with emission regulations

- IMO Tier II
- IMO Tier III (with MAN SCR)
- EPA Tier 2

Main features

- **Turbocharging system**
Sequential Turbocharging system based on high efficiency MAN TCA Turbochargers for optimized full and part load operation
- **Engine automation and control**
MAN in-house developed engine attached

Fuel system

- Reliable electronic fuel injection system
- Attached fuel oil pump with black start capability

Lube oil system

- Attached Lube oil pump and lube oil cooler

Cooling system

- 2-string high and low temperature cooling water systems with attached fresh and seawater pumps

Starting system

- Pressurized air starter (turbine type)

Engine mounting

- Resilient or shock mounting

Inclination

- Designed for up to 45° rolling

Engine design

- No power reduction required up to:
Air temp. 45 °C, Sea water temp. 32 °C
- Continuous low load operation down to 5 % MCR

Optional equipment

- Power Take-Off at engine free end available

3D STC
PROPULSION



12	16	20
207	7,127	8,047
37.8	45.8	52.9
Load profile 'Navy'		
1000	1032	rpm
26.9	28.6	bar
- ICFN	- ICFN	
5,460	6,000	kW

ANEXO II – Especificações do motor MAN 10L32/44CR

Tier II Tier III EPA Tier 2

MAN L32/44CR

Tier III with SCR

Bore: 320 mm, **Stroke:** 440 mm

Speed	r/min	750	720
mep	bar	27,1	28,3
		kW	kW
6L32/44CR		3,600	3,600
7L32/44CR¹⁾		4,060	4,060
8L32/44CR		4,800	4,800
9L32/44CR		5,400	5,400
10L32/44CR		6,000	6,000

Specific fuel oil consumption (SFOC) to ISO conditions

MCR	100%	85%
L32/44CR	176,0 g/kWh	172,0 g/kWh
7L32/44CR	175,5 g/kWh	173,0 g/kWh
L32/44CR FPP	176,5 g/kWh	172,5 g/kWh
7L32/44CR FPP	177,5 g/kWh	174,0 g/kWh

Specific lube oil consumption²⁾: 0,5 g/kWh for nominal output 600 kW/cyl., 0,52 g/kWh for nominal output 580 kW/cyl., 0,55 g/kWh for nominal output 550 kW/cyl.

Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 40 °C

Dimensions

Cyl. No.		6	7	8	9	10
L	mm	6,312	6,924	7,454	7,984	8,603
L₁	mm	5,265	5,877	6,407	6,937	7,556
W	mm	2,174	2,359	2,359	2,359	2,359
H	mm	4,163	4,369	4,369	4,369	4,369
Dry mass³⁾	t	39,5	44,5	49,5	53,5	58,0

Minimum centreline distance for twin engine installation: 2,500 mm

Speed 720 r/min for generator drive/constant speed operation only

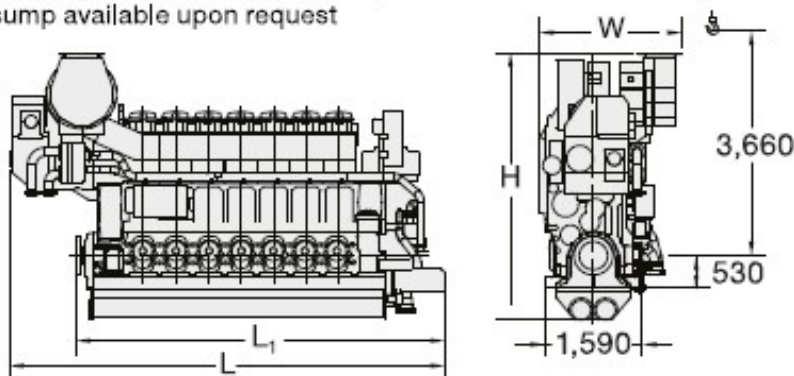
¹⁾ 580 kW/cyl.

²⁾ Related to 100% actual engine load

³⁾ Including built-on lube oil automatic filter, fuel oil filter and electronic equipment

Fixed pitch propeller: 550 kW/cyl., 750 r/min

Wet oil sump available upon request



143

ANEXO III – Especificações do motor MAN 12V32/40

MAN V32/40**Tier II Tier III**

Tier III with SCR

Bore: 320 mm, **Stroke:** 400 mm

Speed	r/min	750	720
mep	bar	24,9	25,9
		kW	kW
12V32/40		6,000	6,000
14V32/40		7,000	7,000
16V32/40		8,000	8,000
18V32/40		9,000	9,000

Specific fuel oil consumption (SFOC) to ISO conditions

MCR	100%	85%
V32/40	184 g/kWh	182 g/kWh
V32/40 FPP	187 g/kWh	183 g/kWh

Specific lube oil consumption¹⁾: 0,5 g/kWh for nominal output 500 kW/cyl., 0,56 g/kWh for nominal output 450 kW/cyl.

Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 43 °C

Dimensions

Cyl. No.		12	14	16	18
L	mm	6,915	7,545	8,365	8,995
L₁	mm	5,890	6,520	7,150	7,780
W	mm	3,140	3,140	3,730	3,730
H	mm	4,100	4,100	4,420	4,420
Dry mass	t	61	68	77	85

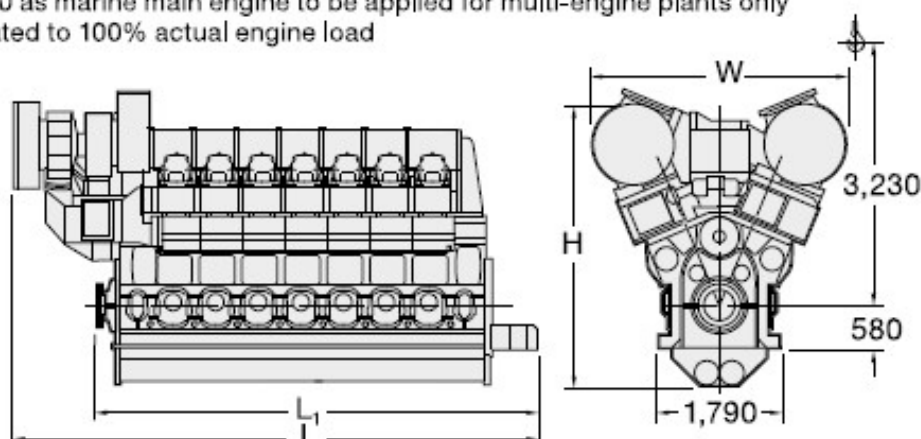
Minimum centreline distance for twin engine installation: 4,000 mm

Speed 720 r/min for generator drive/constant speed operation only

Fixed pitch propeller: 450 kW/cyl., 750 r/min

V32/40 as marine main engine to be applied for multi-engine plants only

¹⁾ Related to 100% actual engine load



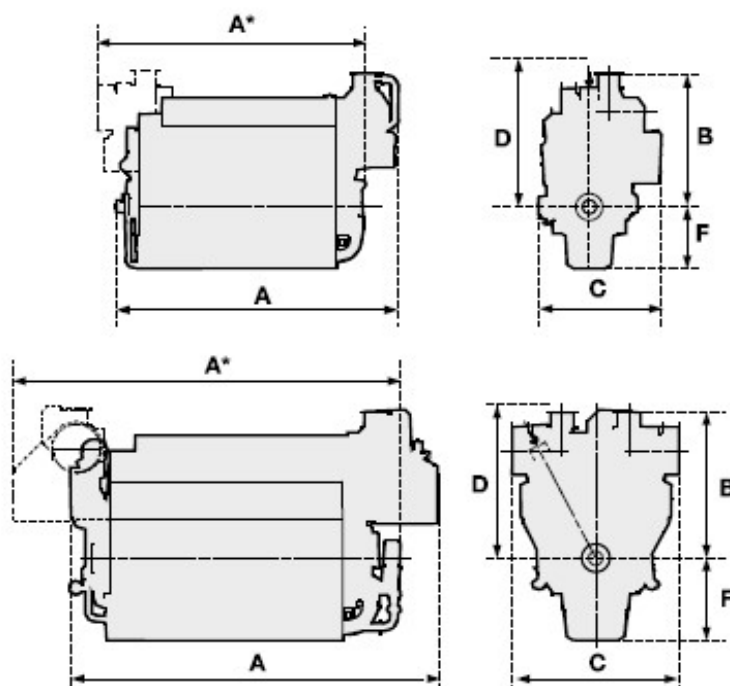
ANEXO IV – Especificações do motor Wärtsilä 12V32

Wärtsilä 32		IMO Tier II or III	
Cylinder bore	320 mm	Fuel specification: Fuel oil	
Piston stroke	400 mm	700 cSt/50°C	7200 sR1/100°F
Cylinder output	580 kW/cyl	ISO 8217, category ISO-F-RMK 700	
Speed	750 rpm	SFOC 178,8 g/kWh at ISO conditions	
Mean effective pressure	28,9 bar		
Piston speed	10,0 m/s		

Rated power		
Engine type		kW
6L32		3 480
8L32		4 640
9L32		5 220
12V32		6 960
16V32		9 280

Dimensions (mm) and weights (tonnes)								
Engine type	A*	A	B*	B	C	D	F	Weight
6L32	5 570	5 130	2 432	2 295	2 380	2 345	1 155	35
8L32	6 400	6 379	2 457	2 375	2 610	2 345	1 155	44
9L32	6 885	6 869	2 455	2 375	2 610	2 345	1 155	49
12V32	7 098	6 865	2 516	2 430	2 900	2 120	1 210	57
16V32	8 041	7 905	2 516	2 595	3 325	2 120	1 210	71

* Turbocharger at flywheel end.



ANEXO V – Especificações do motor Wärtsilä 10V31



Main data

Wärtsilä 31		IMO Tier II or III	
Cylinder bore	310 mm	Fuel specification: Fuel oil	
Piston stroke	430 mm	700 cSt/50°C	7200 sR1/100°F
Cylinder output	610 kW/cyl	ISO 8217, category ISO-F-RMK 700	
Speed	750 rpm	SFOC 167.7 g/kWh at ISO conditions	
Mean effective pressure	30,1 bar		
Piston speed	10,75 m/s		

Engine dimensions (mm) and weights (tonnes)

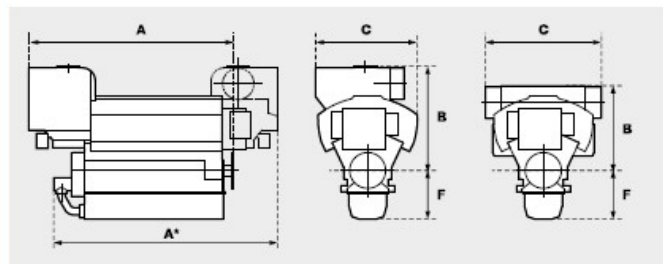
Engine type	A*	A	B	C	F	Weight
8V31	6175	6114	3205	3115	1496	56,3
10V31	6813	6754	3205	3115	1496	66,6
12V31	7900	7840	3137	3500	1496	77,1
14V31	8540	8480	3137	3500	1496	84,6
16V31	9130	9070	3137	3500	1496	93,3

Wärtsilä 31DF & 31SG

Wärtsilä 31DF & 31SG		IMO Tier III	
Cylinder bore	310 mm	Fuel specification (31DF): Fuel oil	
Piston stroke	430 mm	700 cSt/50°C	7200 sR1/100°F
Cylinder output	550 kW/cyl	ISO 8217, category ISO-F-DMX, DMA and DMB	
Speed	750 rpm		
Mean effective pressure	27,2 bar	BSEC, 31DF: 7300 kJ/kWh	
Piston speed	10,75 m/s	BSEC, 31SG: 7243 kJ/kWh	

Engine dimensions (mm) and weights (tonnes)

Engine type	A*	A	B	C	F	Weight
8V31DF & SG	6180	5585	3205	3115	1496	56,8
10V31DF & SG	6820	6225	3205	3115	1496	66,1
12V31DF & SG	7500	6906	3137	3500	1496	77,7
14V31DF & SG	8140	7545	3137	3500	1496	85,3
16V31DF & SG	8780	8185	3137	3500	1496	94,1



Rated power

Wärtsilä 31		Wärtsilä 31DF & 31SG	
Engine type	kW	Engine type	kW
8V31	4 880	8V31DF & SG	4 400
10V31	6 100	10V31DF & SG	5 500
12V31	7 320	12V31DF & SG	6 600
14V31	8 540	14V31DF & SG	7 700
16V31	9 760	16V31DF & SG	8 800

DF = Dual Fuel, SG = Pure Gas (Spark Gas)

ANEXO VI – Especificações do motor Wärtsilä 16V26

Wärtsilä 26		IMO Tier II or III
Cylinder bore	260 mm	Fuel specification: Fuel oil
Piston stroke	320 mm	700 cSt/50°C
Cylinder output	340 kW/cyl	7200 sR1/100°F
Speed	1000rpm	ISO 8217, category ISO-F-RMK 700
Mean effective pressure	24 bar	SFOC 188,7 g/kWh at ISO condition
Piston speed	10.7m/s	

Dimensions (mm) and weights (tonnes)					Rated power
Engine type	F dry sump	F wet sump	Weight dry sump	Weight wet sump	Engine type
6L26	818	950	17.0	17.2	6L26
8L26	818	950	21.6	21.9	8L26
9L26	818	950	23.3	23.6	9L26
12V26	800	1110	28.7	29.0	12V26
16V26	800	1110	36.1	37.9	16V26

Dimensions (mm) and weights (tonnes)			
Engine type	A*	A	B



ANEXO VII – Especificações do motor MTU 20V 1163 M74

44

Solution Guide
Marine & OffshoreS
Mari

Diesel/gas engines for mechanic propulsion

2000 KW - 10000 KW
(2682 BHP - 13410 BHP)

	Engine model	Rated power ICFN			Application group	
		kW	bhp	rpm	1A	1B
Series 4000	16V 4000 M65RN ⁶	2000	2682	1800	■	
	12V 4000 M73L	2124	2848	2050		■
	12V 4000 M73L	2160	2895	2050		■
	16V 4000 M65	2240	3004	1800	■	
	16V 4000 M63L	2240	3004	1800	■	
	12V 4000 M93	2340	3140	2100		
	16V 4000 M73	2560	3435	1970		■
	16V 4000 M65L	2560	3433	1800	■	
	12V 4000 M93L	2580	3460	2100		
	16V 4000 M73L	2832	3798	2050		■
	16V 4000 M73L	2880	3860	2050		■
	16V 4000 M93	3120	4185	2100		
	20V 4000 M73	3200	4290	1970		■
	16V 4000 M93L	3440	4615	2100		
	20V 4000 M73L	3540	4747	2050		■
	20V 4000 M73L	3600	4830	2050		■
	20V 4000 M93	3900	5230	2100		
	20V 4000 M93L	4300	5766	2100		
Series 1163	16V 1163 M74	4800	6437	1250		■
	16V 1163 M84	5200	6975	1280		
	16V 1163 M94	5920	7940	1325		
	20V 1163 M74	6000	8045	1250		■

Application group		Fuel consump. at rated power		Optim.	Er
1D	1DS	g/kWh	l/h	g/kWh	Q _l
		REQ.	REQ.	REQ.	III
		REQ.	REQ.	REQ.	III
		213	554	210	II
		REQ.	REQ.	REQ.	II/
		195	526	194	II
■		216	609	205	II/
		218	672	205	II/
		REQ.	REQ.	REQ.	II/
■		217	675	205	II/
		REQ.	REQ.	REQ.	II/
		220	763	205	II
■		224	842	205	II/
		213	821	210	II
■		230	953	205	II
		REQ.	REQ.	REQ.	II/
		212	920	210	II
■		212	996	205	II/
■		220	1140	210	II
		210	1214	202	II
■		207	1297	200	II
	■	212	1512	201	II
		208	1504	195	II

ANEXO VIII – Especificações do motor S.E.M.T. Pielstick 16PA6 B STC

S.E.M.T. Pielstick PA6 B STC**Tier II Tier III**

Tier III with SCR

Bore: 280 mm, **Stroke:** 330 mm

Speed	r/min	1,050
mep	bar	22,8
		kW¹⁾
12PA6 B STC		4,860
16PA6 B STC		6,480
20PA6 B STC		8,100

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) to ISO conditions

MCR	100%	85%
PA6 B STC	₂₎	₂₎

Dimensions

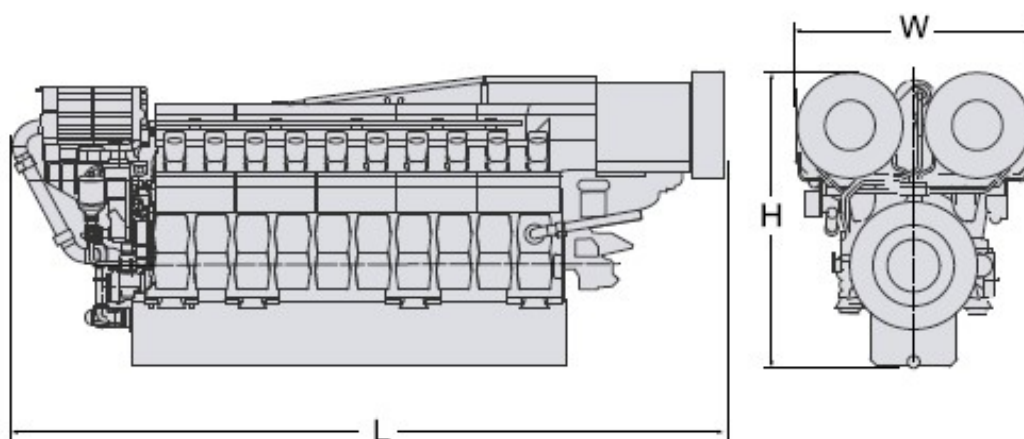
Cyl. No.		12	16	20
L	mm	5,830	6,780	7,960
W	mm	2,340	2,340	2,640
H	mm	3,124	3,124	3,166
Dry mass	t	31	37	43

Engine fuel: distillate according to ISO 8217 DMA

Engine rating: engine rating according to ISO 3046 conditions

¹⁾ 110% load for one in six operating hours on navy vessels, with approval according to HSVR from DNV, available on special request

²⁾ SFOC values are project specific, Please contact MAN Energy Solutions for further information.

**190****MAN Energy Solutions****S.E.M.T. Pielstick four-stroke propulsion engines**

ANEXO IX – Especificações do motor Caterpillar 3616

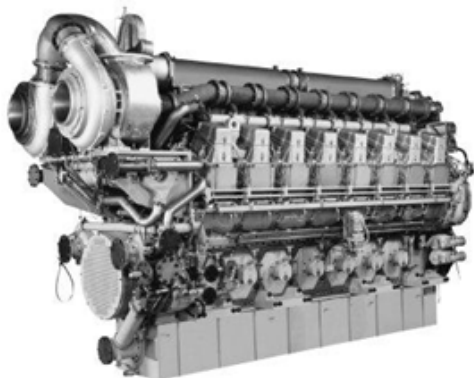


Marine Propulsion Engine

3616

Fast Vessel

6000 bkW (8046 bhp) @ 1020 rpm



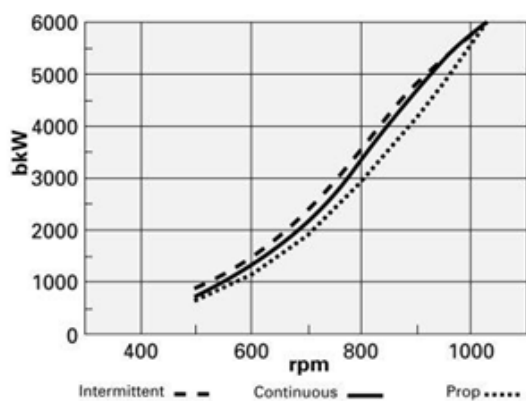
CATERPILLAR® ENGINE SPECIFICATIONS

V-16, 4-Stroke-Cycle-Diesel

Emissions	IMO compliant
Bore — mm (in)	280 (11.0)
Stroke — mm (in)	300 (11.8)
Displacement — L (cu in)	296 (18,062)
Rotation (from flywheel end)	CCW or CW
Compression Ratio	12.6:1
Aspiration	Turbocharged-Aftercooled
Low Idle Speed — rpm	350
Rated Speed — rpm	1020
Average Piston Speed — m/s (ft/s)	10.5 (34.4)
Engine Firing Pressure — bar (psi)	175 (2,538)
BMEP — bar (psi)	23.9 (346)
BSFC — g/bkW-h (lb/hp-h)	206 (.339)

PERFORMANCE DATA

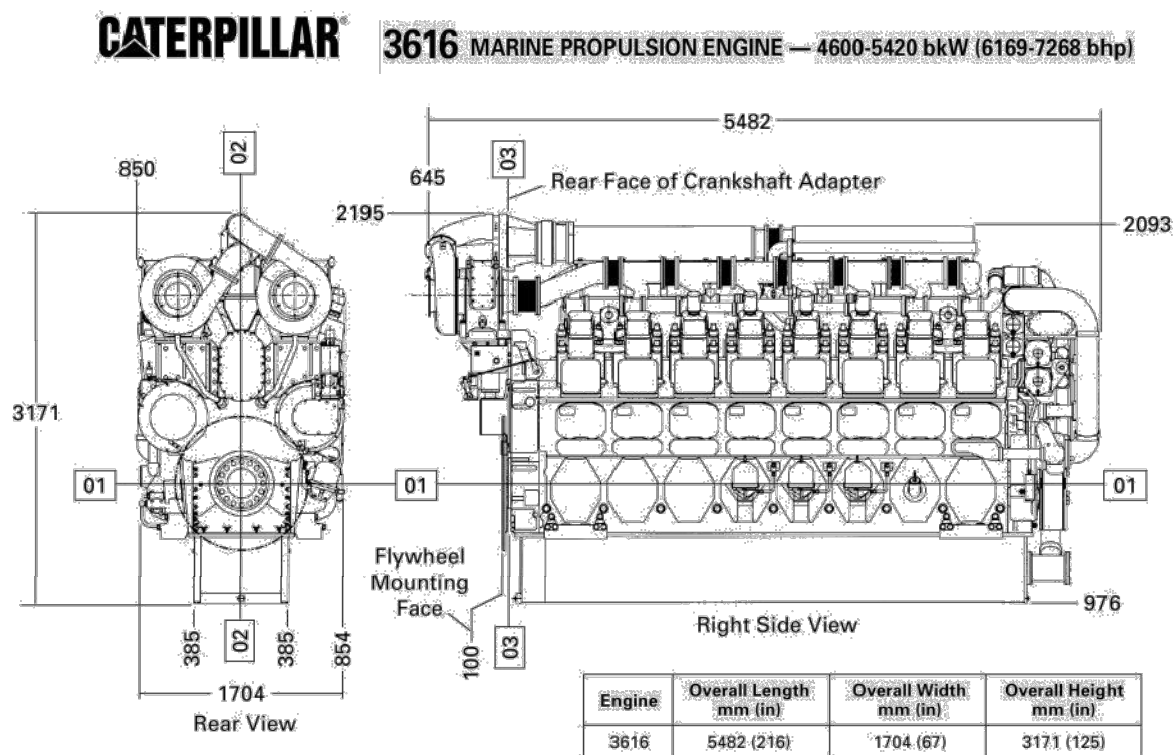
3616 @ 1020 rpm



Speed rpm	Engine Power bkW			
	Continuous	Intermittent	Prop Demand Curve	BSFC* g/bkW-hr
1020	6000	6000	6000	206
950	5579	5579	4848	200
900	4732	4960	4122	204
800	3327	3486	2895	209
700	2102	2332	1939	215
600	1327	1461	1221	218
500	813	846	707	219

*At Propeller Demand Curve

ANEXO X – Especificações do motor Caterpillar 3616



Engine Weights		kg (lb)
Engine Dry Weight		28 500 (62,832)
Shipped Loose Items:	Torsional Coupling	480 (1,058)
	Plate-Type Heat Exchanger	475 (1,045)
	Instrument/Alarm Panel	200 (440)
Fluids:	Lube Oil	961 (2,119)
	Jacket Water	1060 (2,337)
	Heat Exchanger (FW, SW, LO)	133 (293)

RATING DEFINITIONS AND CONDITIONS

MAXIMUM CONTINUOUS RATING – 8% of the engine operating hours at 100% of rated power, 92% of the engine operating hours at 90% of rated power.

CONTINUOUS SERVICE RATING – 100% of the engine operating hours at 100% of rated power.

RATINGS are based on SAE J1995/ISO3046 standard conditions of 100 kPa (29.61 in. Hg), 25°C (77°F), and 30% relative humidity at the stated charge air cooler water temperature. Ratings also meet classification society maximum temperature requirements of 45°C (113°F) air temperature to the turbocharger and 32°C (90°F) seawater temperature without derate. Additional ratings may be available for specific customer requirements. Consult your Caterpillar representative for additional information.

FUEL RATES are based on 35° API, 16°C (60°F) fuel used at 29°C (85°F) with a density of 838.9 g/liter (7.001 lbs/U.S. gal). Lower Heat Value (LHV) of 42 780 kJ/kg (18,390 Btu/lb). Tolerance is +5%. Includes all engine mounted pumps. BSFC without pumps is 3% less.

MARINE CERTIFICATION – Ratings are marine classification society approved by ABS, BV, CCS, DnV, GL, KR, LRS, NKK, RINA, and RS. These societies have also granted 3600 factory line production approval which eliminates requirement for society surveyor witness test.

Performance data is calculated in accordance with tolerances and conditions stated in this specification sheet and is only intended for purposes of comparison with other manufacturers' engines. Actual engine performance may vary according to the particular application of the engine and operating conditions beyond Caterpillar's control.

Materials and specifications are subject to change without notice.

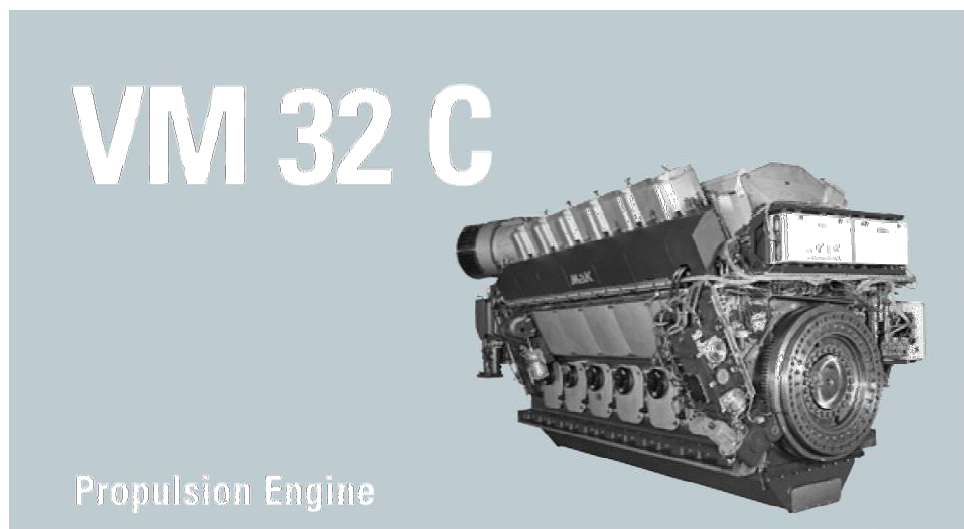
The International System of Units (SI) is used in this publication.

LEHM1879-01 (4-02)

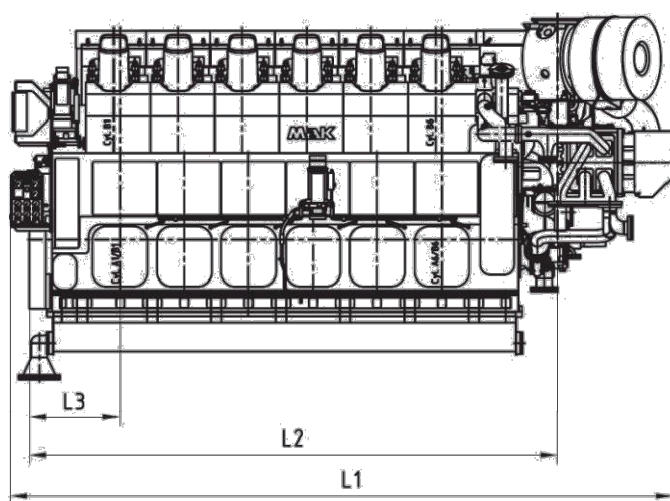
Printed in U.S.A.

©2002 Caterpillar
All rights reserved.

ANEXO XI – Especificações do motor Caterpillar 12 M 32 C

**DIMENSIONS (mm) AND WEIGHTS (t)**

Type	L1	L2	L3	H1	H2	H3	W1	W2	Weight
12 M 32 C	6956	5535	949	2319	1205	750	2985	1133	65.0
16 M 32 C	8328	6885	949	2319	1205	750	2985	1133	82.0



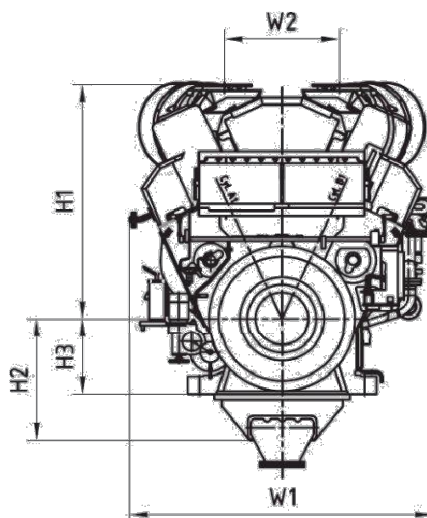
ANEXO XII – Especificações do motor Caterpillar 12 M 32 C

TECHNICAL DATA

Type	Output range		Speed	Stroke	Mean eff. pressure	Mean piston speed	Spec. fuel consumption	
	kW	mhp					100 %	85 %
12 M 32 C	5760	7830	720	420	23.7	10.0	181	180
	6000	8160	750	420	23.7	10.5	182	181
	6000	8160	720	460	22.5	11.0	178	177
	6000	8160	750	460	21.6	11.5	179	179
	6360	8650	720	460	23.8	11.0	178	177
	6360	8650	750	460	22.9	11.5	179	179
	6720	9139	720	460	25.2	11.0	178	177
	6720	9139	750	460	24.2	11.5	179	179
16 M 32 C	7680	10445	720	420	23.7	10.1	182	181
	8000	10880	750	420	23.7	10.5	184	183
	8000	10880	720	460	22.5	11.0	178	177
	8000	10880	750	460	21.6	11.5	181	180
	8480	11533	720	460	23.8	11.0	178	177
	8480	11533	750	460	22.9	11.5	179	179
	8960	12186	720	460	25.2	11.0	181	177
	8960	12186	750	460	24.2	11.5	182	179

Bore: 320 mm

Specific lubricating oil consumption 0.6 g/kWh, ± 0.3 g/kWh
 LCV = 42700 kJ/kg, without engine-driven pumps, tolerance 5%



Engine centre distance: 3500 mm

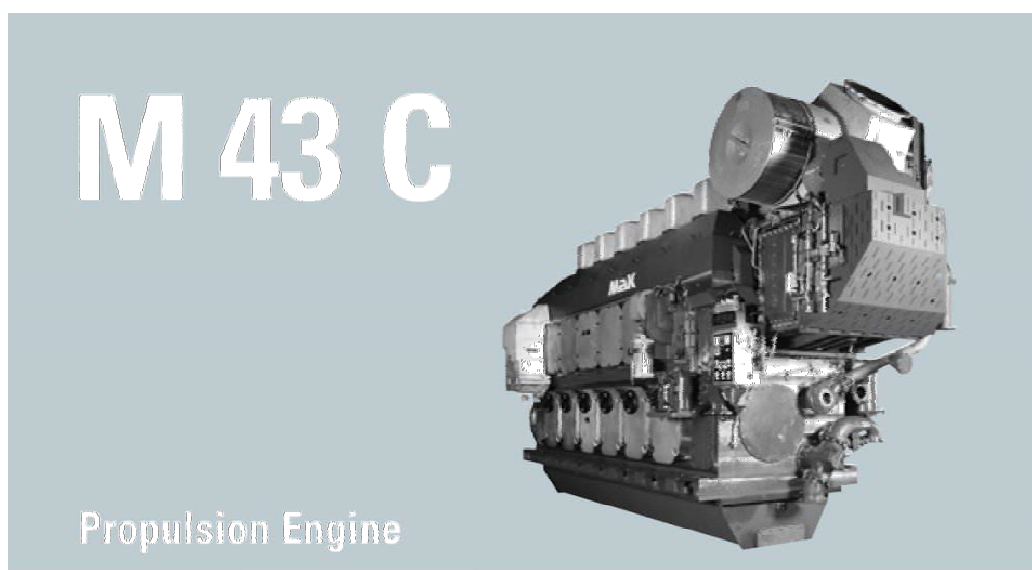
Removal of cylinder liner:
 in transverse direction: 2836 mm

Nozzle position: ask for availability

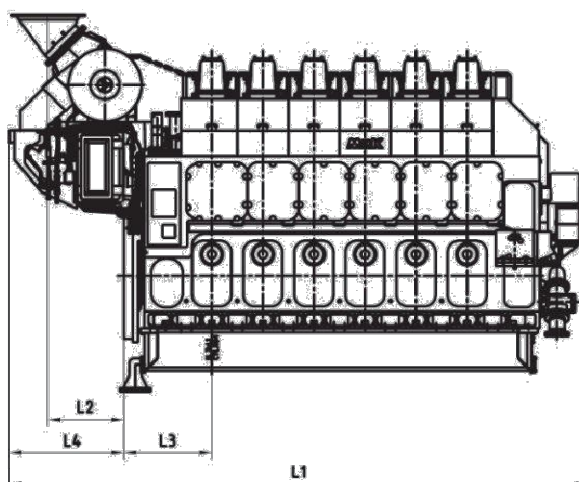
This engine is only available with dry oil
 sump.

Engine with turbocharger at driving end
 available, ask for dimensions

ANEXO XIII– Especificações do motor Caterpillar 6 M 43 C

**DIMENSIONS (mm) AND WEIGHTS (t)**

Type	L1	L2	L3	L4	H1	H2	H3	W1	W2	Weight
6 M 43 C	8271	1066	1255	1638	3734	1399	750	2878	215	94.0
7 M 43 C	9068	1119	1255	1704	4105	1399	750	2878	232	107.0
8 M 43 C	9798	1119	1255	1704	4105	1399	750	2878	232	114.0
9 M 43 C	10528	1119	1255	1704	4105	1399	750	2878	232	127.0



ANEXO XIV– Especificações do motor Caterpillar 6 M 43 C

TECHNICAL DATA

Type	Output range		Speed	Mean eff. pressure	Mean piston speed	Spec. fuel consumption	
	kW	mhp				100 %	85 %
6 M 43 C	5400	7344	500	24.4	10.2	175	175
	5400	7344	514	23.7	10.5	175	175
	6000	8160	500	27.1	10.2	176	175
	6000	8160	514	26.4	10.5	176	175
	6300	8568	500	28.4	10.2	177	176
	6300	8568	514	27.7	10.5	177	176
7 M 43 C	6300	8568	500	24.4	10.2	175	175
	6300	8568	514	23.7	10.5	175	175
	7000	9520	500	27.1	10.2	176	175
	7000	9520	514	26.4	10.5	176	175
	7350	9996	500	28.4	10.2	178	176
	7350	9996	514	27.7	10.5	178	176
8 M 43 C	7200	9792	500	24.4	10.2	175	175
	7200	9792	514	23.7	10.5	175	175
	8000	10880	500	27.1	10.2	176	175
	8000	10880	514	26.4	10.5	176	175
	8400	11424	500	28.4	10.2	178	176
	8400	11424	514	27.7	10.5	178	176
9 M 43 C	8100	11016	500	24.4	10.2	175	175
	8100	11016	514	23.7	10.5	175	175
	9000	12240	500	27.1	10.2	176	175
	9000	12240	514	26.4	10.5	176	175
	9450	12852	500	28.4	10.2	178	176
	9450	12852	514	27.7	10.5	178	176

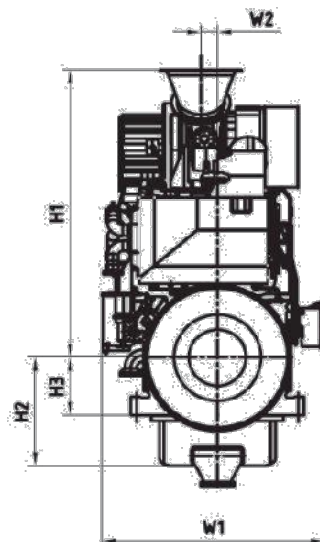
Stroke: 610 mm

Bore: 430 mm

Specific lubricating oil consumption 0.6 g/kWh, ± 0.3 g/kWh

LCV = 42700 kJ/kg, without engine-driven pumps, tolerance 5%

Engine centre distance: 3400 mm



Removal of cylinder liner:

in transverse direction 4165 mm

in longitudinal direction 4610 mm

Nozzle position:

ask for availability

This engine is only available with dry oil sump

Engine with turbocharger at free end available,
ask for dimensions