

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS
(APMA 01.2020)

FERNANDO GROZINGER TOLEDO

A EFICIÊNCIA DA PROPULSÃO ELÉTRICA EM EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO

RIO DE JANEIRO
2020
FERNANDO GROZINGER TOLEDO

A EFICIÊNCIA DA PROPULSÃO ELÉTRICA EM EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.
Orientador: Elizabeth Fátima Lourenço Borges

RIO DE JANEIRO

2020

FERNANDO GROZINGER TOLEDO

A EFICIÊNCIA DA PROPULSÃO ELÉTRICA EM EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Elizabeth Fátima Lourenço Borges

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Assinatura do Aluno

Dedico este trabalho as pessoas mais importantes da minha vida, minha noiva Jéssica e minhas irmãs Luisa e Lilian, elas ajudam a me manter motivado sempre e me dão condições de almejar sempre o lugar mais alto, levando sempre comigo conceitos importantes de responsabilidade e caráter, desta forma consegui chegar onde estou hoje.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por tudo em minha vida e a minha noiva Jéssica Braun Scassa por me apoiar nas minhas escolhas e me manter firme em direção ao meu objetivo de carreira.

Agradeço à minha orientadora Elizabeth Fátima Lourenço Borges, que esteve sempre disposta a me ajudar e se mostrou uma excelente profissional como docente no decorrer desse curso.

"A persistência é o caminho do êxito "

Charles Chaplin

RESUMO

O propósito deste trabalho, primeiramente, é dar uma noção da história da marinha mercante e sua evolução, enfatizando a trajetória da propulsão elétrica nesse processo e apresentar detalhadamente alguns métodos para gerar energia nas embarcações da marinha mercante. Visa também mostrar o sistema de propulsão elétrica usado pelo setor mercante, pois aparece como solução para a redução de custos e de emissão de poluentes dentre outros pontos, fazendo assim, um comparativo com o sistema de propulsão tradicional dando ênfase nas suas vantagens.

Palavras-chave: Propulsão elétrica. Propulsores. Gerador. Eletricidade.

ABSTRACT

The purpose of this work, first of all, is to give a notion of the history of the merchant navy and its evolution, emphasizing the trajectory of electric propulsion in this process and presenting in detail some methods to generate energy in merchant navy vessels. It also aims to show the electric propulsion system used by the merchant sector, because it appears as a solution for reducing costs and pollutant emissions among other points, thus making a comparison with the traditional propulsion system emphasizing its advantages.

Keywords: Electric propulsion. Propellers. Generator. Electricity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	USS Jupiter	16
Figura 2:	PSV GNL 1001	18
Figura 3:	Navio OSRV	19
Figura 4:	AHTS Bram Power	20
Figura 5:	FPSO Pioneiro de Libra	21
Figura 6:	Diagrama unifilar de sistema de geração de energia/propulsão	26
Figura 7:	Grupo geradores (Motor diesel e alternados)	27
Figura 8:	Ilustração simples sistema de turbina a vapor	28
Figura 9:	Ilustração turbina a gás	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	MARINHA MERCANTE BRASILEIRA	14
2.1	História da Marinha Mercante	14
2.2	O retorno e nova queda da Marinha Mercante	14
2.3	Um breve histórico sobre a propulsão elétrica	16
3	TIPOS DE EMBARCAÇÕES MERCANTES	18
3.1	Navio de Apoio à Plataforma / Platform Supply Vessel (PSV)	18
3.2	Navio de Recolhimento de Óleo Derramado / Oil Spill Recovery Vessel (OSRV)	19
3.3	Navio de Apoio ao Manuseio de Âncoras e Reboque / Anchor Handling Tug Supply (AHTS)	19
3.4	Navio de Produção, Armazenagem e Distribuição de Petróleo / Floating Production, Storage and Offloading (FPSO)	20
3.5	Outros tipos de embarcações	21
4	PROPULSÃO EM EMBARCAÇÕES	21
4.1	Propulsão a vela	22
4.2	Propulsão a vapor	22
4.3	Turbina a gás	22
4.4	Propulsão Nuclear	23
4.5	Propulsão combinada	23
5	INTRODUÇÃO BÁSICA AO SISTEMA ELÉTRICO	23
5.1	Geração de Energia	24
5.2	Distribuição de Energia	24
5.3	Propulsão Elétrica	24
6	PROPULSÃO ELÉTRICA	24
6.1	Geração de energia elétrica	25
6.2	Geradores a diesel	26
6.3	Turbogerador a vapor	28
6.4	Turbogerador a gás	29

7	COMPARAÇÕES ENTRES NAVIOS COM PROPULSÕES DIESEL ELÉTRICA E DIESEL TRADICIONAL	29
7.1	Vantagens dos navios com propulsão diesel elétrica	30
7.1.1	Redução do Consumo de Combustível	30
7.1.2	Redução da tripulação	30
7.1.3	Redução da Emissão de Poluentes	31
7.1.4	Redução dos custos de manutenção	32
7.1.5	Aumento da Vida Útil do Navio	32
7.1.6	Aumento da Capacidade de Sobrevivência do Navio	33
7.1.7	Flexibilidade do projeto	33
7.1.8	Manobrabilidade	34
7.1.9	Redução da Assinatura Acústica	34
7.2	Vantagens dos navios com propulsão diesel tradicional	35
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35

1. INTRODUÇÃO

Com a globalização, onde muitos produtos não são mais fabricados nos países onde serão utilizados, um sistema que possibilite o transporte de maneira eficiente é necessário e depois de inventar e aprimorar diversos meios de transporte, um sistema adquire grande importância pela sua versatilidade, capacidade de transporte e eficiência. O sistema é o de transporte marítimo.

Uma vez que os navios têm várias funções, pode-se dizer que existem vários tipos de navios que podem ser fabricados. Eles podem ser transportadores de pequenas peças, pessoas e grandes quantidades de matérias-primas para as mais variadas indústrias.

Para que o navio possa navegar, um sistema de propulsão é necessário. Sabe-se que os sistemas de propulsão mais utilizados neste tipo de embarcação são: Diesel-tradicional e diesel-elétrico, apesar de, nesse trabalho, serem abordados outros tipos de propulsão, será dada ênfase na diferença desses dois tipos de propulsão a diesel e as vantagens do diesel-elétrico.

No tipo tradicional, a energia mecânica responsável pela rotação da hélice é produzida por um motor de combustão interna (geralmente um motor a diesel), que gera a rotação necessária por meio de um acoplamento direto com a hélice para mover o navio para frente ou para trás. Além do alto consumo de combustível, possui um custo maior com manutenção devido ao motor diesel e suas linhas de eixos, mancais e acoplamentos.

Já na diesel-elétrica, a geração de energia ocorre através de um conjunto motor diesel-gerador. O motor a diesel é responsável pela produção de energia mecânica que através do movimento do eixo acionará um gerador que irá produzir energia elétrica. A partir dessa produção de energia elétrica motores elétricos serão alimentados e assim se tornam responsáveis pelo giro das hélices.

2 MARINHA MERCANTE BRASILEIRA

2.1 História da Marinha Mercante

A frota mercante começou como entidade autônoma na Idade Média com a constituição das irmandades de frotas. O monopólio dos bens orientais era uma das maiores fontes de riqueza da época e a prosperidade de países urbanos como Veneza, Gênova e Pisa levou à migração no meio marinho.

Após descobrir a costa da África, América e conseqüentemente Brasil no século 16, criando assim outras rotas comerciais, o campo foi alterado para frotas: Grã-Bretanha, Portugal, Holanda e Espanha. Portanto, essas pequenas caravelas se desenvolveram gradualmente em grandes navios de grande porte, aumentando assim o volume de transporte de carga.

Com o forte aumento do volume de transporte, inovações tecnológicas foram realizadas, tendo como principais fatores à introdução do metal na indústria naval e a invenção da máquina a vapor, que revolucionaram o transporte marítimo de viajantes e mercadorias.

Esta evolução seguiu com a propulsão mediante pás laterais, o uso de hélices, a troca do ferro pelo aço (na construção dos cascos) e atualmente o aumento da utilização de sistemas de propulsão diesel-elétrica.

2.2 O retorno e nova queda da Marinha Mercante

O Brasil tem aproximadamente 8.500 quilômetros de costa oceânica, o que o torna muito dependente do oceano. O país desenvolve atividades pesqueiras em grande escala e extrai óleo e gás do fundo do mar, responsável por grande parte de todas as atividades marítimas brasileiras. Aproximadamente 95% das importações e exportações do Brasil são comercializadas nos oceanos de todo o mundo por meio de navios.

Essas características poderiam indicar fortemente que o país é uma potência mundial na área de Marinha Mercante. Esse cenário era real, nas décadas de 1970 e 1980, quando o país foi o segundo maior construtor naval do mundo (perdendo apenas para o Japão) e navios de bandeira brasileira correspondiam a aproximadamente 90% do comércio exterior.

Após esse período áureo da Marinha Mercante, na década de 90, a frota nacional reduziu-se drasticamente, tornando a pior fase da Marinha Mercante brasileira. Grandes companhias faliram, estaleiros foram fechados, parando assim a fabricação de novas embarcações, e no fim tudo investido durante anos foi perdeu-se.

Durante essa grave crise, os navios de bandeira brasileira responderam por menos de 4% de nosso comércio exterior, fazendo com que o Brasil pagasse por importação e exportação em 96% das mercadorias brasileiras. Porém no início do novo milênio, uma das maiores preocupações do governo brasileiro era a de recuperar o poder no setor naval, o que levou a implantação de diversas ações para garantir um novo início para um país com clara vocação marítima.

Inclua a isso o fato que os gastos com fretamento aumentaram ainda mais o déficit na conta do balanço de pagamentos com o exterior e ainda, o valor do frete tem participação direta na competitividade dos produtos brasileiros nas exportações.

A expansão da infraestrutura logística e de transportes trouxe a mesa o tema da recuperação do setor naval. A conquista de novos mercados e o aumento nas nossas vendas externas indicam que era necessário construirmos novas embarcações com bandeira brasileira. Soma-se a isso um poderoso item: o petróleo. Após a crise da década de 1990, o Brasil tornou-se uma potência mundial em todos os processos que envolvem o petróleo, da extração à exportação, a indústria brasileira se aqueceu e diversos estaleiros voltaram a operar.

Com estaleiros voltando ao funcionamento e a crescente exploração de petróleo foi necessário a construção de embarcações mais modernas e a renovação da frota existente que estavam em más condições de uso. Grandes armadores, como a Transpetro (maior armador do país), e novos armadores verificaram a necessidade maior de embarcações.

Uma das maneiras encontradas para atender essa demanda foi o Fundo da Marinha Mercante (FMM), que junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) concederam linhas de crédito aos armadores para a construção de novas embarcações, a juros menores, com o propósito de incentivar essa renovação na indústria naval. Porém, esse crédito era concedido somente se na construção das embarcações 65% do conteúdo da embarcação fosse local, ou seja, construído no Brasil.

Nesse cenário, pode-se dizer que, a Petrobrás foi a maior responsável por essa revitalização no setor marítimo, por causa da grande encomenda de plataformas e de embarcações *offshore*. O número de encomendas no setor foi exorbitante, e inúmeras embarcações foram lançadas aos mares.

2.3 Um Breve Histórico sobre a Propulsão Elétrica

O uso de motores elétricos para impulsionar navios não é uma inovação tecnológica recente. A primeira aplicação da tecnologia de propulsão elétrica no campo naval ocorreu no século 19, quando a Rússia construiu e operou pequenos barcos a motor movidos a bateria para o transporte de passageiros.

A utilização da propulsão elétrica também não é um conceito novo para a Marinha Americana (USN). Em 1913, a bordo do navio carvoeiro USS “Jupiter”, foi implementada uma instalação experimental com 4.1 MW de potência instalada por eixo.

Figura 1: USS Jupiter



O sistema de propulsão do USS “Jupiter” era basicamente um turbo gerador em corrente alternada (CA) que alimentava dois motores de indução com rotor bobinado. O experimento obteve sucesso e o navio foi convertido em 1922, no primeiro navio aeródromo da Marinha Americana, chamado USS “Langley”. O navio era de grande porte e permaneceu em plena capacidade operativa até 1942, quando foi afundado em combate.

Durante o período entre a Primeira Guerra Mundial e a Segunda Guerra Mundial, o uso bem-sucedido da propulsão elétrica e seus benefícios inspiraram um tremendo esforço para construir 50 navios com essa propulsão. Entre esses navios estão o USS New Mexico com potência instalada de 30 MW, o segundo e o terceiro porta-aviões da Marinha dos Estados Unidos com potência instalada de 135 MW, o USS Lexington e o USS Saratoga.

Ao longo da Segunda Guerra Mundial, mais de 160 navios de escolta dotados de propulsão elétrica foram construídos para a Marinha Norte Americana, utilizando turbo ou diesel geradores na faixa de 4,5 a 9,0 MW. Aproximadamente 500 navios de pequeno porte foram também equipados com sistemas de propulsão elétrica em corrente contínua com potência instalada na faixa de 225 kW a 15 MW.

Entretanto, por volta de 1940, os desenvolvimentos na tecnologia dos sistemas de engrenagens de dupla redução, para aplicações no setor naval e militar, passaram a apresentar preços competitivos nos Estados Unidos. Aliado a este fator, e também a algumas desvantagens da propulsão elétrica existentes naquela época, como maior peso, maior volume e menor eficiência energética, a expansão do uso da propulsão elétrica em larga escala foi drasticamente inibida, em detrimento da propulsão mecânica convencional. Esta situação persistiu até o início do novo século, quando a capacidade de transmissão mecânica de energia atingiu seu limite tecnológico e de viabilidade econômica.

Durante as décadas de 1980 a 1990, os avanços tecnológicos na área de Eletrônica de Potência, tornaram a transmissão elétrica de energia mais eficiente e compacta possibilitando o retorno do emprego da propulsão elétrica em diversas classes de navios, como quebra-gelos, oceanográficos, tanque e numerosos transatlânticos.

Atualmente, as pesquisas para a definição das melhores alternativas de tecnologia envolvendo propulsão elétrica estão em plena evolução. Os estudos relativos aos motores de propulsão, para aplicação naval e militar, apresentam os seguintes requisitos essenciais: formato compacto, peso e volume reduzido, elevadas faixas de potência gerada para valores específicos de torque, resistência ao choque, e baixos valores de assinatura acústica e eletromagnética.

3. TIPOS DE EMBARCAÇÕES MERCANTE

Nesse cenário de ressurgimento da indústria naval, devido a novas tecnologias e novas necessidades, começam a surgir novos tipos de embarcações, que antes eram desconhecidas.

Alguns desses novos tipos de embarcações serão detalhados em seguida:

3.1 Navio de Apoio à Plataforma / Platform Supply Vessel (PSV)

Os navios de apoio à plataforma, mais conhecidos pela sigla do seu nome em inglês (PSV), são os navios que atualmente tem a maior carteira de pedidos no Brasil. Apesar de ser uma classificação bastante abrangente, devido ao fato de que existem outros tipos de embarcações que oferecem o apoio às plataformas de exploração, o PSV é o mais utilizado, podendo ter variações conforme a necessidade da plataforma. Apresentam tamanhos que variam de 20 a 100 metros de comprimento e são encarregados pelo transporte de suprimentos para a plataforma, como por exemplo, combustível diesel, água (potável e não potável), produtos químicos usados na perfuração, entre outros. É também responsável pelo retorno de outras cargas de volta ao continente

Figura 2: PSV GNL 1001



3.2 Navio de Recolhimento de Óleo Derramado / Oil Spill Recovery Vessel (OSRV)

O navio de coleta de derramamento de óleo pode ser considerado uma variante do PSV e sua abreviatura em inglês é OSRV. Como o nome sugere, o OSRV tem a função de coletar uma determinada quantidade de óleo derramado no mar durante o processo de exploração do petróleo, por conta desse equipamento especial, o OSRV possui um grande diferencial em relação ao PSV. É de extrema importância para a plataforma visto que comumente há o derramamento de petróleo durante o processo de exploração. O OSRV tem um tamanho que varia de 60 a 80 metros de comprimento e é importante salientar que o OSRV recolhe apenas pequenas quantidades de óleo derramado.

Figura 3: Navio OSRV



3.3 Navio de Apoio ao Manuseio de Âncoras e Reboque / Anchor Handling Tug Supply (AHTS)

Os navios conhecidos como AHTS, são construídos também com a finalidade de apoiar as plataformas de exploração de petróleo, porém essas embarcações tem papel maior no apoio. O AHTS é uma embarcação maior, de 100 a 140 metros, que possui potência em seus motores significativamente maior do que os outros tipos de embarcações *offshore*. Isso pelo fato de que o AHTS tem três funções principais, que são: manuseio de âncoras das plataformas, rebocá-las para a posição correta e ancorar as mesmas na localização exata para a exploração do petróleo. As

embarcações AHTS apresentam diversos equipamentos diferenciados para esses propósitos e ainda apresenta sua popa aberta para permitir o embarque das âncoras.

Figura 4: AHTS Bram Power



3.4 Navio de Produção, Armazenagem e Distribuição de Petróleo / Floating Production, Storage and Offloading (FPSO)

Essas embarcações são diferenciadas em relação às demais embarcações de apoio à plataforma. São embarcações muito maiores em comparação com as outras e possuem dentro de sua estrutura, a capacidade de processar os hidrocarbonetos vindos do petróleo e armazená-los. Tem papel importante no processo de exploração, pois o navio recolhe o petróleo, processa e armazena, até que um navio tanque (ou de transporte de petróleo) retire o conteúdo processado do FPSO e o ciclo continue. O FPSO é preferível em relação a linhas de distribuição por tubos, pois seu custo é menor e não requer toda a infraestrutura envolvida na construção dessas linhas. Além disso, o FPSO tem a capacidade de processar o petróleo trazendo certa economia no tempo do processo total de exploração e produção de produtos derivados do petróleo.

Figura 5: FPSO Pioneiro de Libra



3.5 Outros tipos de embarcações

Existem diversos outros tipos de embarcações além dos apresentados. A seguir outros tipos que são facilmente encontrados:

- > Pipelay Vessel: Responsável pela construção da infraestrutura submarina de conexões de tubos para a distribuição de petróleo entre plataforma e embarcações;

- > Sheerleg: Embarcação que apresenta guindastes em sua estrutura que servem para facilitar na construção de estruturas navais, como plataformas de exploração de petróleo;

- > Empurradores fluviais: Encontrados nos rios de bacias como a do Amazonas e do Paraná, são embarcações pequenas que empurram balsas para o transporte de grãos, minério de ferro e outras matérias primas;

- > Rebocadores: Praticamente do mesmo porte que os empurradores, porém com o propósito de puxar embarcações maiores por caminhos tortuosos ou para rebocá-los para uma posição desejada em um porto.

4. PROPULSÃO EM EMBARCAÇÕES

A propulsão de um navio mercante sempre desempenhou um papel primordial no desenvolvimento do transporte marítimo. Entende-se por propulsão todo e

qualquer meio que coloque uma embarcação em movimento. Das velas aos modernos motores elétricos, os sistemas de propulsão sempre determinaram a velocidade, quantidade de carga transportada e autonomia de um navio, além de interferir na questão econômica, pois os gastos com combustíveis representam uma fatia grande nas despesas totais para o armador.

Os sistemas de propulsão se diferenciam pela sua máquina propulsora que é responsável pela geração de empuxo para mover a embarcação. Dentre os diversos tipos de propulsão podemos citar a propulsão a vela, a vapor, turbina a gás, nuclear, combinada, diesel tradicional e diesel elétrica.

4.1 Propulsão a vela

A propulsão a vela consiste em velas latinas ou triangulares e redondas, também chamadas de quadradas, impulsionando um navio. Neste tipo de propulsão não há máquinas sendo utilizadas para impulsionar a embarcação, a força dos ventos é responsável por dar movimento à embarcação, o arranjo das velas dita a velocidade e os rumos que podem ser assumidos.

Atualmente tem aplicação em embarcações com finalidade de recreação, representação e prática de esportes.

4.2 Propulsão a vapor

A propulsão a vapor teve seu ápice no século XIX. Nesse sistema de propulsão, uma caldeira produz vapor para movimentar uma turbina ou um motor a vapor que movimentava inicialmente uma roda de pás que seria substituída pelo hélice.

Com o advento do motor de combustão interna e fatores econômicos, este tipo de propulsão foi deixado de lado, sendo hoje utilizada apenas em embarcações representativas. E atualmente o vapor a bordo é utilizada para aquecimento de forma geral ou geração de energia por meio de turbo geradores.

4.3 Turbina a gás

As turbinas a gás são muito empregadas na aviação e ao longo do tempo vêm sendo aplicadas em navios de guerra de alta velocidade, como as Fragatas. O ciclo básico de conversão de potência útil de uma turbina pode ser resumido em fases: fase da compressão da massa de ar, fase da combustão, onde a massa de ar se mistura com o combustível pulverizado num queimador e a fase da expansão, realizada por um ou mais turbinas, onde parte da energia se converte em potência útil.

4.4 Propulsão Nuclear

Um sistema de propulsão nuclear, de uma forma geral, pode ser definido como aquele em que a energia calorífica liberada na fissão nuclear é convertida, por processos termodinâmicos normais, em potência útil propulsora. A fissão é uma reação especial que ocorre em raros elementos como o Urânio-235, possuindo dois grandes resultados: a primeira é a grande quantidade de energia desprendida e a segunda é que a reação nuclear se desenvolve de modo crescente, de modo que todo material físsil seja desintegrado.

4.5 Propulsão combinada

Os navios de guerra precisam de uma ampla capacidade de variação da velocidade, com a finalidade cumprir as suas mais diversas missões. Assim, empregam sistemas de propulsão não convencionais, onde podem combinar motor diesel com sistema a gás, diesel elétrico com gás, turbina a vapor com motor diesel (Quase obsoleto), reatores nucleares e vapor dentre outros.

5. INTRODUÇÃO BÁSICA AO SISTEMA ELÉTRICO

Um sistema elétrico de propulsão diesel-elétrico pode ser dividido em três principais áreas.

5.1 Geração de Energia

Área responsável pela geração de energia. Essa área apresenta basicamente os grupos geradores (motor diesel e alternador) responsáveis pela produção de energia no sistema.

5.2 Distribuição de Energia

Essa área contém elementos responsáveis pela distribuição da energia produzida pela área de geração de energia. A área contém em sua composição os painéis de distribuição e controle da energia. Esses painéis podem ainda ser divididos em painéis principais (com a finalidade de propulsão e tarefas com potência requerida maiores) e painéis auxiliares (para equipamentos menores e distribuição de energia a baixa tensão).

5.3 Propulsão Elétrica

Sendo que a principal demanda de energia nesse sistema elétrico é para o sistema de propulsão em si, a última área apresenta os elementos responsáveis pela propulsão mecânica no navio. Todos os equipamentos responsáveis por transmitir a energia da melhor maneira possível para os motores estão presente nessa área. Por ordem, os transformadores de propulsão, os inversores de frequência e por fim os motores elétricos de propulsão.

6. PROPULSÃO ELÉTRICA

Como mencionado anteriormente, a ideia de ter um motor elétrico para um navio propulsor não é recente, mas sua consolidação só se tornou realidade devido aos avanços na área de eletrônica de potência nas últimas décadas e aumento da potência do motor para tornar a propulsão elétrica competitiva no mercado.

O sistema básico de propulsão elétrica consiste em um grupo gerador, um acionamento motorizado composto por um computador, conversor de frequência e sistema de controle de velocidade e torque, um motor elétrico, transmissão e hélice.

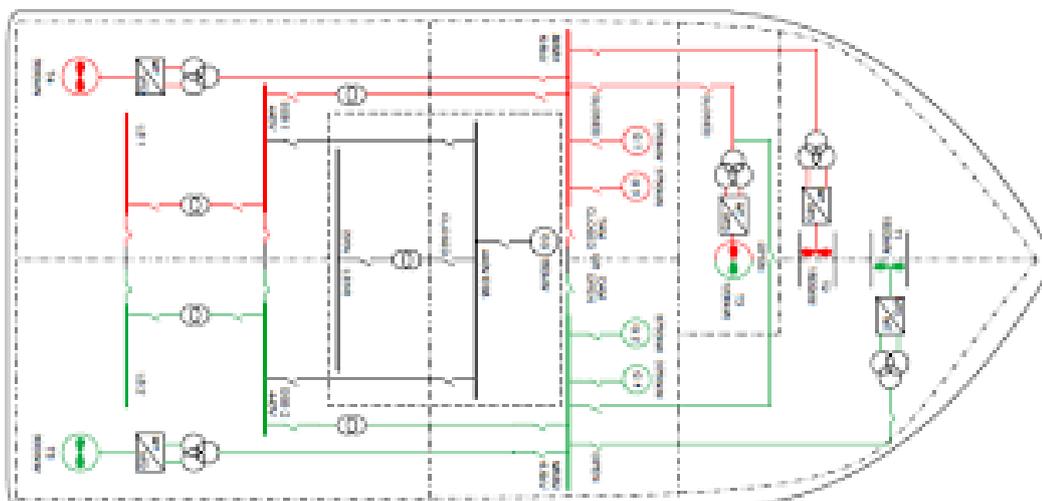
Hoje, o crescimento do emprego de motores e geradores elétricos para aplicações em propulsão naval é de mais de 20%. Atualmente, quase todos os navios civis de cruzeiro e alguns de carga já fizeram a mudança do seu sistema de propulsão para o do tipo elétrico e a frota no sentido global das marinhas mercantes vem se adequando a esse “novo” modelo de propulsão pelas vantagens que o mesmo proporciona.

6.1 Geração de energia elétrica

Num sistema de propulsão elétrica, a geração elétrica de bordo, supre todos os sistemas essenciais e ainda tem que alimentar os motores elétricos de propulsão. Este fator torna o grupo gerador de energia a bordo um sistema importantíssimo em qualquer tipo de embarcação, mesmo que a propulsão da embarcação não seja elétrica. A geração de energia para o funcionamento constante das bombas, iluminação, dentre outros equipamentos, é que o torna essencial propiciando um bom funcionamento do navio.

Com desenvolvimento da área da eletrônica de potência e o crescimento da tecnologia de motores elétricos com maiores potência fazem a necessidade de os geradores de energia também devem ser potentes, são atualmente utilizados dois tipos principalmente, pois conseguem produzir a tensão requisitada e potência, são eles turbogeradores (a gás ou vapor) e geradores a diesel. Com isso, surgiu a sistema de propulsão elétrica integrada, que consiste na geração de energia necessário por meio de transformadores abaixadores de tensão para os sistemas auxiliares e o sistema de propulsão. Com a utilização da corrente alternada, foi viabilizada a utilização de alta tensão na ordem de quilovolts, isto permitiu a utilização de condutores elétricos mais delgados, facilita a colocação, diminui o peso e os custos, resumindo é gerada a tensão e potência necessária para os equipamentos que demandam mais, e para os equipamentos que demandam menos é utilizado transformadores, assim o sistema trabalha em conjunto, e hoje a tendência de serem construídos embarcações com esse sistema é cada vez mais solicitado no mercado. Segue na figura abaixo um modelo simples do diagrama unifilar de um sistema de propulsão elétrica onde ilustra componentes como barramento, grupo geradores, transformadores, tie breaker, propulsores dentre outros.

Figura 6: Diagrama unifilar sistema de geração de energia/propulsão



6.2 Geradores a diesel

A geração a diesel é a fonte de energia elétrica mais comum nos navios de todo o mundo. Largamente difundidos no meio marítimo, esses geradores, conhecido como alternadores, são movidos por um motor de combustão interna (MCI) do ciclo diesel que podem utilizar tanto diesel marítimo quanto óleo pesado, esse grupo é denominado com grupo diesel-gerador.

O motor do gerador a diesel trabalha continuamente, onde ocasiona a combustão mediante movimento do pistão dentro dos cilindros. O processo de combustão do motor faz com que o eixo de manivela (ou virabrequim) gire muito rapidamente, sendo essa rotação a responsável por alimentar o gerador com energia mecânica e ela é transformada em energia elétrica pelo alternador.

A versatilidade do motor de utilizar dois tipos de combustíveis para a queima para realizar o giro do eixo de manivela traz vantagens na operação e permite uma redução nos gastos. Esses geradores também trabalham em sua rotação ideal possuindo uma pequena variação de velocidade para evitar variações na frequência da rede elétrica, com isso a vida útil desses motores é otimizada.

O alternador é responsável por fazer com que a energia mecânica gerada pelo motor se converta em energia elétrica. Isso só ocorre porque há indução magnética.

A transformação de energia nos geradores fundamenta-se no princípio físico conhecido como Lei de Lenz. Segundo ela:

“Quando existe indução magnética, a direção da força eletromotriz induzida é tal, que o campo magnético dela resultante tende a parar o movimento que produz a força eletromotriz”.

Os geradores a diesel também apresentam reduzido nível de emissão de poluentes e estão sendo aperfeiçoados cada vez mais visando reduzir ainda mais a emissão de poluentes junto com um aumento na economia e na potência. Assim, esses equipamentos se firmam como a fonte de energia elétrica mais atrativa para navios mercantes.

Figura 7: Grupo geradores (motor diesel e alternador)



6.3 Turbogenerador a vapor

A turbina a vapor é uma máquina térmica de combustão externa, onde os gases resultantes da queima do combustível não entram em contato com a água e o vapor, que são chamados de fluidos de trabalho. Este é um dispositivo que aproveita a energia térmica do vapor. Consiste basicamente no aquecimento da água até à sua temperatura de ebulição, transformando essa água em vapor, este processo ocorre

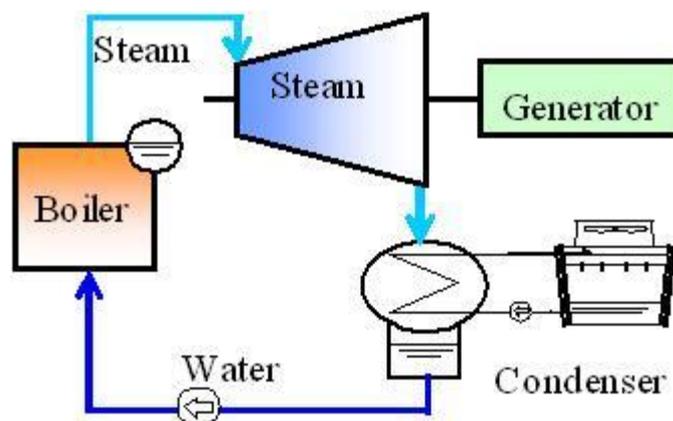
em um ambiente fechado, denominado fornalha. A energia calorífica ou térmica do combustível é transformada em pressão afim de no final ser transformada em energia mecânica, pois uma máquina a vapor não cria energia, utiliza-se do vapor para transformar a energia calorífica liberada pela queima de algum combustível a fim produzir trabalho.

Quando se fala de turbogerador, o vapor sob pressão é direcionado para a turbina, ao chegar à turbina, a energia térmica é transformada em energia cinética, depois, no eixo, em energia mecânica, e finalmente, em energia elétrica no gerador.

Este foi o primeiro meio gerador a ser utilizado para tal função, porém com o passar do tempo perdeu seu espaço, pois outros equipamentos foram desenvolvidos e aperfeiçoados para tornar esse sistema mais vantajoso do que os turbogeradores a gás no mercado.

Atualmente, as turbinas a vapor quase não são mais utilizadas nas embarcações, mesmo com algumas vantagens em relação aos geradores a diesel, como vida útil muito longa, manutenção simples e econômica, não são uma opção competitiva no setor mercante. Segue abaixo uma ilustração bem simples de como é feita a dinâmica de formação da energia mecânica e posterior transformação para energia elétrica.

Figura 8: Ilustração simples sistema de turbina a vapor



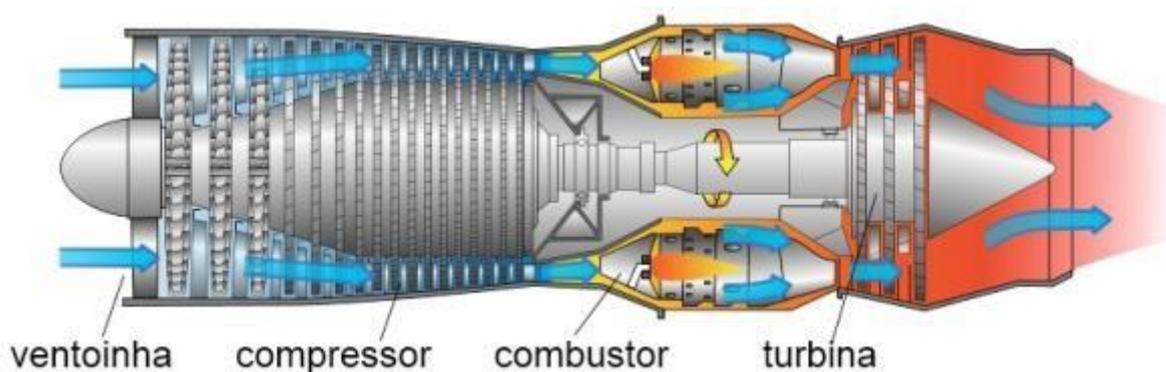
6.4 Turbogenerador a gás

A turbina a gás é uma máquina de combustão interna que trabalha no ciclo Brayton, ela funciona de forma relativamente simples. O ar entra na turbina e é

comprimido pelo compressor, segue para a câmara de combustão onde o combustível se mistura com o ar comprimido e é queimado, os gases provenientes da queima passam pela turbina e giram a máquina que está acoplada a um gerador. São equipamentos extremamente eficientes e entregam grandes potências, porém necessitam de um combustível de alta qualidade que torna o seu funcionamento caro, além de exigir um compartimento com ventilação excelente, pois a demandam muito ar.

As turbinas a gás são equipamentos raros na geração de energia elétrica em navios, porém há embarcações que utilizam este meio para gerar energia a bordo.

Figura 9: Ilustração turbina a gás



7. COMPARAÇÕES ENTRES NAVIOS COM PROPULSÕES DIESEL ELÉTRICA E DIESEL TRADICIONAL

A diferença básica entre um sistema de propulsão mecânico e um elétrico é que enquanto o primeiro emprega um motor a Diesel, por exemplo, para acionar o eixo propulsor, o segundo necessita de um acionador primário, gerador elétrico, conversores elétricos (dentre outros) e de um motor elétrico para acionar o eixo propulsor, cabendo ao motor elétrico a função de transmitir o movimento à hélice.

Um sistema de propulsão mecânica é tão grande e pesado que os projetistas de navios têm de projetar e construir o resto do navio em torno dele, em vez de criar um sistema de propulsão adaptado mecanicamente para o navio. Tamanhos e locais de máquinas em sistemas de propulsão mecânica reduzem o espaço disponível para carga e passageiros e limitam o número de carga e descarga de um navio. Um

comprimento considerável do eixo de propulsão mecânico torna desafiador o uso do espaço nas praças de máquinas dos navios.

Por outro lado, em um sistema de propulsão elétrico não há nenhuma ligação direta, como eixo e caixa de velocidades, entre o acionador primário e a hélice. O recurso de nenhuma ligação direta entre o acionador primário e a hélice em um sistema de propulsão elétrica.

7.1 Vantagens dos navios com propulsão diesel elétrica

7.1.1 Redução do Consumo de Combustível

Em navios com propulsão diesel tradicional, a velocidade do motor é que define a rotação do hélice desta forma, depende do perfil de operação do navio, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, associado as altas velocidades, o que causa um gasto de combustível maior e um desgaste mecânico desnecessário.

Com o uso da propulsão elétrica, este problema é eliminado, e o motor primário pode operar no ponto de melhor rendimento independente da velocidade de rotação do hélice. Em virtude da extinção da conexão mecânica entre motor primário (que gera potência através da queima de combustível) e o eixo propulsor, não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo do motor primário e a rotação do hélice. A Marinha Americana estimou a eficiência energética em aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão diesel tradicional.

7.1.2 Redução da Tripulação

A tendência para os futuros navios elétricos é de uma ampla difusão de sistemas auxiliares, acessórios automatizados alimentados por eletricidade, em substituição aos sistemas mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Sistemas elétricos são mais fáceis de controlar à distância e possuem maior compatibilidade com controles eletrônicos. Esta tendência possibilita o incremento de automação com consequente redução de tripulação, proporcionando adicional benefício através da redução de custo operacional.

7.1.3 Redução da Emissão de Poluentes

Atualmente todas as Marinhas do mundo são pressionadas pelos órgãos ambientais e clientes para que as mesmas em seus projetos de futuros navios, e também em relação aqueles já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações militares e mercantes. Todos os tipos de poluentes emitidos estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações (ex: MARPOL) estão sendo elaboradas com regras mais rigorosas.

Em decorrência das pressões internacionais busca-se utilizar cada vez menos combustíveis fósseis. As emissões de gases poluentes oriundas da queima de óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada, principalmente para navios que operam em países que assinaram o Protocolo de Kyoto.

Durante a operação com navios civis e militares, deve-se sempre levar em conta os aspectos ambientais do transporte. Neste sentido, a utilização da propulsão elétrica apresenta vantagens em relação à propulsão tradicional como redução das emissões de gases poluentes oriundos da queima do óleo diesel, menor utilização de insumos que podem gerar resíduos poluidores e menor emissão de ruídos durante as viagens.

Existem pesquisas que apresenta claramente o que está sendo citado, que a Propulsão Elétrica gera menos gases poluentes que os sistemas tradicionais, pois o motor diesel opera constantemente no ponto ótimo de projeto, o que proporciona uma redução no consumo de combustível e conseqüentemente uma menor liberação de gases poluentes (ex: CO₂ - Dióxido Carbônico, NO_x – Óxido de Nitrogênio e SO_x – Óxido de Enxofre) durante as operações.

No futuro não somente os poluentes emitidos durante a vida operativa do navio serão controlados, mas também todos aqueles produzidos durante a sua construção até o encerramento do período operativo do meio (desativação do meio naval). É uma nova filosofia, ainda de difícil aplicação prática, mas que está ganhando muita força nos dias atuais, devido à atitudes políticas de interesse mundial.

7.1.4 Redução dos Custos de Manutenção

Com a adoção da propulsão elétrica diversos equipamentos auxiliares são eliminados. Essa redução de equipamentos instalados resulta em um menor custo com manutenção. Somado a esse fato, os custos e períodos de manutenção dos equipamentos elétricos são menores e com o elevado grau de automação as manutenções preditivas e preventivas se tornam excelentes ferramentas para a redução dos custos totais com manutenção.

A viabilidade da existência de uma tecnologia comum dentre as diversas plataformas navais (exemplo: navios de superfície e submarinos), com a adoção da Propulsão Elétrica, possibilitará a coordenação do desenvolvimento e aplicação de modelos comuns, ferramentas de projetos, métodos de fabricação, novos materiais, componentes, sistemas, contribuindo para significativas reduções no risco do projeto.

7.1.5 Aumento da Vida Útil do Navio

Os navios militares modernos incorporam cada vez mais sensores e armas de alta complexidade tecnológica, que os tornam muito mais potentes do que os navios de gerações anteriores. Já os investimentos necessários para a aquisição destes meios têm crescido numa progressão ainda maior, tornando difícil justificar este gasto considerando o tempo de vida útil dos navios tradicionais.

Com o evento da automação dos sistemas de armas, nas décadas de 80 e 90, mais equipamentos elétricos e eletrônicos estão sendo incorporados aos navios, aumentando a demanda por energia elétrica. Isto vem fazendo com que os geradores instalados a bordo sejam de potência mais elevada, a fim de suprir a demanda já instalada e manter uma reserva para crescimento futuro. A futura adoção das armas elétricas, que estão atualmente em pleno desenvolvimento, tende a agravar ao extremo esta situação.

Com a propulsão elétrica, o cenário muda radicalmente. Os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão, os sistemas auxiliares e os sistemas de armas, através de um sistema de distribuição redundante. Os motores são dimensionados para atender ao navio em velocidade máxima, com todos os sistemas vitais em operação.

Com isto, em velocidade normal, o navio possui capacidade de geração a cima do que necessita, capaz de atender todos os usuários com folga, assimilando sem dificuldades as substituições ou inclusões futuras de novos equipamentos ou sistemas. Os navios projetados com propulsão elétrica podem ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 25 ou 40 anos dos navios com propulsões tradicionais.

7.1.6 Aumento da Capacidade de Sobrevivência do Navio

A modularidade e a flexibilidade proporcionam um sistema de geração de energia e de propulsão redundantes, distribuídos e reconfiguráveis. Conseqüentemente os danos em um compartimento de máquinas, seja provocado por incêndio, alagamento ou simples mau funcionamento, podem facilmente ser detectados e “by-passados”, mantendo-se o funcionamento do sistema inalterado.

A facilidade para o redirecionamento da energia elétrica a bordo, possibilita uma elevada gama de possibilidades de ações para minimizar os efeitos decorrentes de múltiplas falhas simultâneas tornando-o assim mais seguro e com maior tempo disponível sem que ocorra avarias maiores.

7.1.7 Flexibilidade do Projeto

Os equipamentos da propulsão elétrica são modulares e não precisam ser posicionados próximos uns aos outros (podem inclusive ser instalados em compartimentos diferentes). Dependendo do tamanho das máquinas, elas podem ser instaladas nas partes mais altas do casco, deixando apenas o motor elétrico junto ao fundo do casco conectado ao propulsor

Podem por exemplo, colocar a máquina diesel em um convés mais superior, e desta forma, reduzir o volume ocupado pelos dutos de admissão e exaustão dos motores.

Como resultado desta flexibilização, torna-se desnecessário concentrar equipamentos em praças de máquinas principais; sendo possível espalhar os compartimentos de máquinas pelo navio, em áreas menos críticas, com um aproveitamento otimizado do espaço disponível a bordo.

No navio com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pelo navio será gerada pelos motores principais. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço.

A modularidade do sistema permite também que em altas velocidades sejam utilizados todos os dispositivos de acionamento principal e, nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários.

7.1.8 Manobrabilidade

A utilização de azimutais nas embarcações com propulsão elétrica permite a geração de empuxo em qualquer direção, uma vez que o propulsor pode ser colocado em qualquer posição ao girar 360°. Para fins de manobrabilidade, isso representa uma enorme vantagem sobre as embarcações com propulsão mecânica convencional. Tanto nas manobras de atração/desatração quanto nas de aproximação, os operadores podem direcionar o empuxo para onde for mais conveniente.

Como exemplo das vantagens de se ter um elevado grau de manobrabilidade pode-se citar a eliminação do uso de rebocadores portuários para atracar/desatracar ou a facilidade de se anular as forças externas quando operar em Posicionamento Dinâmico.

7.1.9 Redução da Assinatura Acústica

Na Propulsão Elétrica não é necessário haver o alinhamento das máquinas acionadoras principais com as linhas de eixo tornando, portanto, desnecessária a utilização de engrenagens redutoras. A eliminação desta engrenagem contribui significativamente para a redução nos níveis de ruído e vibração, garantindo desta forma uma significativa diminuição da assinatura acústica do meio, reduzindo conseqüentemente a possibilidade de o navio ser detectado.

Além disto, os motores elétricos apresentam menor nível de ruído, devido às suas características construtivas e, portanto, não produzem tanta vibração e ruído quanto os equipamentos mecânicos.

E à medida que os sistemas e equipamentos que atualmente são mecânicos forem substituídos pelos elétricos, ocorrerá à diminuição da assinatura acústica total emitida.

7.2 Vantagens dos navios com propulsão diesel tradicional

Podemos aqui listar poucas vantagens na utilização dos embarcações propulsionadas com sistema diesel tradicional, dentre elas citamos que nesse modelo a possibilidade de ocorrência de falhas e avarias elétricas onde pode chegar a acarretar até incêndios é bem menor, no sistema de propulsão diesel elétrica requer a tripulação mais treinada sobretudo na parte elétrica-eletrônica, no sistema diesel-tradicional a necessidade de sobressalentes não se iguala ao diesel elétrico e por fim no diesel elétrico terá uma maior custo de manutenção em regiões tropicais úmidas.

Nota-se que as vantagens citadas nada se compara aos inúmeros benefícios proporcionados pelos navios equipados com o sistema diesel elétrica de propulsão.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do trabalho é mostrar um modelo de propulsão que vem apresentar muito sucesso na sua utilização em embarcações no geral, a propulsão elétrica, fazendo assim, um comparativo com o sistema de propulsão tradicional, dando ênfase nas suas vantagens.

Para isso primeiramente foi dada uma noção da história da marinha mercante e sua evolução, destacando o caminho da propulsão elétrica nesse processo, foi mostrado tipos de embarcações existentes na frota mundial mercante, passando por tipos de propulsão e também um assunto importantíssimo que foi detalhar algumas formas utilizadas para geração de energia nas embarcações da marinha mercante.

Como foi visto neste trabalho, a aplicação da propulsão elétrica em navios tem uma história de sucessos ao longo dos últimos anos e a cada ano que passa ganha terreno neste setor, pois aparece como solução para a redução de custos, de emissão de poluentes dentre outros pontos.

O sucesso nas tentativas recentes, de aumentar o nível de produção de potência dos motores elétricos empregados neste tipo de propulsão, permite que navios possam se beneficiar das vantagens inerentes ao uso da propulsão elétrica.

Vantagens essas, que foram citadas neste trabalho e nos faz chegar a conclusão que o sistema de propulsão diesel elétrico além de ser muito mais benéfico que o sistema de propulsão diesel tradicional, irá, em médio/longo prazo, se tornar o sistema utilizado em praticamente a totalidade das embarcações, isso só não acontecerá antes pois ainda existem embarcações em funcionamento que não utilizam o sistema, e a mudança de projeto acaba sendo inviabilizada pelo custo.

Referências

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Geografia: o mar no espaço geográfico brasileiro**. Brasília: MEC, 2005. 309 p. Consultado em 30 nov. 2020

PESCE, E., I., “**Marinha do Brasil: perspectivas**”, Revista Marítima Brasileira, pp 104-120, 2009.

OILPUBS. **Atlantic Marine delivers Astro Barracuda**. 2000. Disponível em: <<http://www.oilpubs.com/oso/article.asp?v1=4537>>. Acesso em: 30 nov. 2020

WORKBOATSINTERNATIONAL.AHTS (**Anchor Handling Tug Supply**). Disponível em:<[http://workboatsinternational.com/anchor-handling-tug-supply-\(ahts\)-for-sale.html](http://workboatsinternational.com/anchor-handling-tug-supply-(ahts)-for-sale.html)>. Acesso em: 30 nov. 2020.

BLOGSEGURANÇADOTRABALHO. **O que é Esquema Elétrico Unifilar (NR-10)**. Disponível em:< <http://www.blogsegurancadotrabalho.com.br/2009/12>> . Acesso em: 30 nov. 2020.

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência**. São Paulo: Prentice Hall, 2000. 479 p. Consultado em 30 nov. 2020.

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão Elétrica de Navios**. Consultado em 30 nov. 2020

AQUINO, Suzane; BEZERRA, Ubiratan; TOSTES, Maria. **Eficiência energética na recuperação de energia elétrica em navios mercantes**. Julho 2015. Disponível em: <https://reserchgate.net>. Acesso em: 01 out. 2020.

GERK, Hermann Regazzi. **Hidrodinâmica para navegantes**, 2016 consultado em 30 nov. 2020

GUIA Trabalhista. Disponível em: www.guiatrabalhista.com.br. Acesso em: 01 out. 2020.