

**Instalação elétrica para o hospital naval papa francisco: desenvolvimento do projeto elétrico de um barco hospital para atendimento de populações ribeirinhas nas amazonas****Electrical installation for the hospital naval papa francisco: development of the electric project of a hospital boat to service ribeirinas populations in amazonas**

DOI:10.34117/bjdv6n4-351

Recebimento dos originais: 27/03/2020

Aceitação para publicação: 27/04/2020

**Elder Alves de Sousa Junior**

Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário 7 de Setembro – UNI7  
Instituição: Centro Universitário 7 de Setembro – UNI7  
Endereço: Av. Almirante Maximiniano da Fonseca, 1395 - Eng. Luciano Cavalcante,  
Fortaleza, Brasil, 60811-020  
Email: elderasj@gmail.com

**Francisco Jeandson Rodrigues da Silva**

Doutorando e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará – UFC  
Instituição: Centro Universitário 7 de Setembro – UNI7  
Endereço: Av. Almirante Maximiniano da Fonseca, 1395 - Eng. Luciano Cavalcante,  
Fortaleza, Brasil, 60811-020  
Email: jeandson@dee.ufc.br

**Douglas Aurélio Carvalho Costa**

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará – UFC  
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Cedro – IFCE  
Endereço: Alameda José Quintino, s/n - Prado, Cedro-CE, 63400-000.  
Email: douglas.aurelio@ifce.edu.br

**Ailson Pereira de Moura**

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB  
Instituição: Universidade Federal do Ceará – UFC  
Endereço: Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593  
Email: ailson@dee.ufc.br

**Julianna Vulcão da Silva**

Graduada em Engenharia Naval pela Universidade Federal do Pará - UFPA  
Instituição: Universidade Federal do Pará - UFPA  
Endereço: Instituto de Tecnologia-Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Belém-PA, Brasil  
Email: vsjulianna@gmail.com

**Davi Marinho dos Santos**

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará – UFC  
Instituição: Universidade Federal do Ceará – UFC  
Endereço: Av. Humberto Monte, s/n – Pici, Fortaleza, Brasil – 60440-593  
Email: davi0ms@gmail.com

**João Paulo Mathias de Matos**

Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário 7 de Setembro – UNI7  
Instituição: Centro Universitário 7 de Setembro – UNI7  
Endereço: Av. Almirante Maximiniano da Fonseca, 1395 - Eng. Luciano Cavalcante,  
Fortaleza, Brasil, 60811-020  
Email: mathiasjoapaulo@gmail.com

**João Cordeiro dos Santos Neto**

Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário 7 de Setembro – UNI7  
Instituição: Centro Universitário 7 de Setembro – UNI7  
Endereço: Av. Almirante Maximiniano da Fonseca, 1395 - Eng. Luciano Cavalcante,  
Fortaleza, Brasil, 60811-020  
Email: joacordeirosn@outlook.com

**RESUMO**

O presente trabalho visa o emprego das instalações elétricas em ambientes navais juntamente com o meio hospitalar no Barco Hospital Papa Francisco (BHPF). O trabalho apresenta o desenvolvimento da instalação elétrica no BHPF, mostrando as normas técnicas aplicadas ao setor elétrico de embarcações e de hospitais. É feita a análise de cargas elétricas no navio para se ter a potência instalada e a demanda de energia elétrica da embarcação, a fim de dimensionar o sistema de geração de energia elétrica e também para dimensionar adequadamente os equipamentos elétricos usados na instalação, como as proteções elétricas que são executadas a fim de proteger os tripulantes e os equipamentos instalados na rede de energia elétrica do BHPF. A proposta da metodologia empregada é integrar os projetos de engenharia do setor elétrico naval e hospitalar, criando formas para desenvolver os dimensionamentos, aplicações e detalhes construtivos para uma instalação hospitalar naval. A rede de energia elétrica do BHPF foi elaborada para suprir todas as cargas hospitalares instaladas e os equipamentos necessários para navegação através de dois geradores acionados por motores (GAM), com 150 kW de potência ativa cada.

**Palavras-chave:** Embarcação; Hospital; Instalação elétrica; Hospital Naval; Geração de energia elétrica.

**ABSTRACT**

The present work aims at the use of electrical installations in naval environments together with the hospital environment at Barco Hospital Papa Francisco (BHPF). The work presents the development of the electrical installation at BHPF, showing the technical standards applied to the electrical sector of vessels and hospitals. The analysis of electrical loads on the ship is carried out in order to have the installed power and the electric energy demand of the vessel, in order to dimension the electric energy generation system and also to properly size the electrical equipment used in the installation, such as protections. that are carried out in order to protect the crew and equipment installed in the BHPF electric power network. The proposal

of the methodology employed is to integrate engineering projects in the naval and hospital electrical sector, creating ways to develop the dimensions, applications and construction details for a naval hospital installation. The BHPF electric power network was designed to supply all installed hospital loads as well as the necessary equipment for navigation through two generators driven by engines (GAM) with 150 kW of active power each.

**Keywords:** Vessel; Hospital; Electrical installation; Naval Hospital; Electric power generation.

## 1 INTRODUÇÃO

Os projetos de estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) é a designação entregue a qualquer estabelecimento prestador de serviços de assistência à saúde para a população que possibilite acesso de pacientes, em regime de internação ou não, independentemente do nível da enfermidade (ANVISA, 2012).

Os hospitais são de grande importância para qualquer sociedade, devido às prestações de serviços de saúde, sendo que as tecnologias utilizada em hospitais se aperfeiçoa constantemente, visando a melhoria no trato de enfermidades, mas para que isto possa ocorrer, normas hospitalares por parte da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) relacionadas a instalações elétricas prediais são criadas e seguidas de acordo com o avanço tecnológico, para obter segurança aos pacientes e funcionários no ambiente de trabalho hospitalar.

As populações ribeirinhas que se encontram na Amazônia representam diversos grupos sociais (migrantes de outras regiões, indígenas). Estas populações vivem às margens de rios e lagos dentro Amazônia brasileira e se distribuem dentro de uma área de 5.020.000km<sup>2</sup> (GAMA, FERNADES, PÁRENTE, SECOLI, 2018).

O projeto de instalações elétricas em ambiente naval trabalha com equipamentos de pequenas e grandes potências, responsáveis pela navegação, propulsão, monitoração e outros, portanto é essencial ter informações sobre os tipos de ligações dos equipamentos e nível de tensão em que estes aparelhos operam, para se evitar riscos de choque elétrico ou queda de energia causada por sobrecargas.

O Barco Hospital Papa Francisco (BHPF) possui 32 metros de comprimento e comporta consultórios médicos, odontológicos, centro cirúrgico, praça oftalmológica, laboratório de análises, praça de medicação, praça de vacinação e leitos de enfermaria, além de possuir diversos equipamentos para auxílio de exames, como por exemplo: raio-X,

ultrassom, mamógrafo, ecocardiógrafa, esteira ergométrica e eletrocardiógrafo (FSFAPD, 2018).

O BHPF como EAS tem por objetivo prestar assistência na área da saúde, por isto deve disponibilizar serviços com qualidade e segurança à população ribeirinha, pois são comunidades carentes que têm no BHPF o único meio de tratar seus problemas de saúde.

Os riscos causados pela instalação elétrica devem ser mitigados, desde situações que se originam de substâncias ou fontes de energia elétrica à risco de choque elétrico envolvendo instalações e equipamentos eletromédicos, pois um problema na instalação elétrica pode causar riscos às pessoas que estão trabalhando ou usando os serviços do BHPF ou até mesmo danificar aparelhos eletromédicos usados para diagnosticar riscos à saúde (ANVISA, 2012).

Pelas razões apontadas, motiva-se estudar o tema: instalação elétrica para o hospital naval Papa Francisco: desenvolvimento do projeto elétrico de um barco hospital para atendimento de populações ribeirinhas do Amazonas, descrevendo todo o processo de criação do projeto do sistema elétrico em ambiente naval agregando o meio hospitalar, desde o dimensionamento da geração de energia elétrica no barco hospital, proteções de todo os sistemas de energia elétrica, memorial de cálculo para o dimensionamento de condutores e adequação da iluminação para todos os ambientes do barco hospital. Na Figura 1 é mostrado o BHPF.

Figura 1 – Barco Hospital Papa Francisco em Direção ao Elevador de Navios.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção, foram apresentados os conceitos para fundamentação teórica do tema, de acordo com a literatura acadêmica, de normas para instalações elétricas navais, de normas para instalações elétricas hospitalares, de análise de carga, de dimensionamento do sistema elétrico, de painéis, de métodos de aterramento para instalação elétrica, de distribuição de energia elétrica e da instalação elétrica hospitalar.

### 2.1 NORMAS PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Nesta subseção, foram apresentadas as normas para instalações elétricas navais e hospitalares, com a finalidade de expor os elementos necessários para alcançar um nível satisfatório de segurança na instalação elétrica e assegurar um padrão de qualidade do produto que é entregue ao cliente.

#### 2.1.1 Normas para instalações elétricas navais

As normas utilizadas que possuem referencial de atuação internacional e nacional são: IEC 60092 *series Electrical Installations in Ships*, IEC 60553 *Electrical and electronic installations in vessels –Electromagnetic compatibility (EMC)*, ISO 8468 (2007) *Ship's Bridge Layout and Associated Equipment – Requirements and Guidelines*, IEEE STD 485 – *Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications*, IEEE STD 45 – *Recommended Practice for Electrical Installation on Shipboard*, para navios que sua área de navegação seja águas internacionais (ALVES, 2007).

Para navios que sua área de navegação é no Brasil as normas a serem seguidas são ABNT NBR 7567 - Balanço elétrico em embarcações, ABNT NBR IEC 60529 – Grau de Proteção para Invólucros de Equipamentos Elétricos (Código IP), ABNT – NBR 9883 – Equipamentos Elétricos para Atmosfera Explosiva – Segurança Aumentada – Tipo de Proteção, ENGENALMARINST N° 05-07 – Simbologia de construção naval – sistemas de eletricidade, ENGENALMARINST N° 05-09 – Simbologia de instrumentos, ENGENALMARINST N° 30-01 - Especificação de controladores de motores elétricos, painéis de controle, painéis de distribuição, painéis de monitoração e quadros elétricos para uso naval, ENGENALMARINST N° 30-02 – Cabos elétricos para uso naval - força e iluminação - requisitos técnicos e de documentação, ENGENALMARINST N° 30-03 - Aterramento de equipamentos e peças em navios da MB, ENGENALMARINST N° 30-04 – Identificação e marcação de Equipamentos e cabos elétricos dos sistemas de eletricidade e

eletrônica, ENGENALMARINST N° 30-06 – Critérios de seleção e dimensionamento de cabos elétricos (ALVES, 2007).

### 2.1.2 Normas para instalações elétricas hospitalares

A série de normas internacionais IEC 60601, estabelece às condições de segurança e eficácia dos equipamentos eletromédicos, gerando requisitos mínimos a serem desempenhados por estes equipamentos. A IEC 60601 foi a norma de referência para a elaboração das normas técnicas nacionais para instalações elétricas hospitalares (NBR IEC 60601, 2013).

A sigla EAS foi definida de acordo com a norma ABNT NBR 13534, para englobar clínicas odontológicas, veterinárias, estéticas, médicas e hospitais de pequeno, médio e grande porte, tendo como objetivo por norma a garantia de segurança contra riscos de choque elétrico de pacientes, pessoas ou animais e profissionais de saúde em EAS. (CASTELLARI, 2013).

No Brasil a norma mais usual para instalações elétrica é a ABNT NBR 5410, esta estabelece condições para o funcionamento em instalações elétricas em baixa tensão, ou seja, em até 1000 V em corrente alternada (AC). Para instalações elétricas hospitalares se tem a ABNT NBR 13534, que atende para EAS públicos e privados, complementando prescrições que estão contidas na ABNT NBR 5410 (ABNT NBR 13534, 1995).

A instalação elétrica em EAS se inicia com o projeto fundamentado nas normas e regulamentos técnicos vigentes e específicos com atuação no Brasil, tais como: ABNT NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão, ABNT NBR 13534 – Instalações elétricas de baixa tensão – requisitos específicos para instalação em estabelecimentos assistenciais de saúde, ANVISA RDC N° 50 – Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, IEC 60601 – Equipamento eletromédico Parte 1-11: Requisitos gerais para a segurança básica e o desempenho essencial – Norma Colateral: Requisitos para equipamentos eletromédicos e sistemas eletromédicos utilizados em ambientes domésticos de cuidado à saúde (CASTELLARI, 2013).

## 2.2 BALANÇO ELÉTRICO EM EMBARCAÇÕES

Para o dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica, uma listagem de equipamentos deve ser elaborada. São contabilizados todos os equipamentos da embarcação, sendo estes equipamentos, tais como equipamentos de: segurança, *heating ventilation and air conditioning* (HVAC), mecânica, iluminação, navegação. Estes equipamentos são agrupados

para as diversas situações em que a embarcação opera, para que possa ser analisada a potência total a ser requerida (ABNT NBR 7567, 1982).

Todas as informações das cargas elétricas a serem utilizadas na embarcação estão divididas em três grupos que são: cargas normais, grupo de equipamentos que funcionam em corrente AC e sem a necessidade de uma alimentação secundária, cargas essenciais, que englobam os equipamentos eletromédicos, que funcionam em corrente AC e que possuem a necessidade de uma alimentação secundária em corrente AC, e as cargas essenciais críticas (ABNT NBR 13534, 1995).

As cargas essenciais críticas são alimentadas por baterias, caso haja falha no sistema de geração principal, estas mantêm energizados os equipamentos que funcionam em corrente contínua (DC), sendo estes responsáveis pelos chamados de socorro, sistemas de navegação e iluminação de emergência (ISO 8468, 2007).

### **2.2.1 Análise de carga para o dimensionamento do sistema elétrico**

Nesta subseção foi realizada a análise de carga, tendo a premissa da separação de cargas, em cargas normais, cargas essenciais e cargas essenciais críticas. No grupo de cargas normais o sistema elétrico é dividido em treze subgrupos de acordo com sua funcionalidade e grau de importância na embarcação, como visto na Tabela 1 (ABNT NBR 7567, 1982).

Tabela 1 – Resumo do balanço elétrico

PROJETO:		ESTALEIRO					
		CASCO:					
GRUPO	CLASSIFICAÇÃO	NO MAR		EM MANOB.	CARGA E DESC.	HOSP. OPER.	NO PORTO FUND.
		ESSENC.	NORMAL				
1	PRAÇA DE MÁQUINAS - SERVIÇO CONTÍNUO						
2	PRAÇA DE MÁQUINAS - SERVIÇO INTERMITENTE						
3	PRAÇA DE MÁQUINAS - DIVERSOS						
4	AR CONDICIONADO/ VENTILAÇÃO/ AQUECIMENTO						
5	FRIGORÍFICAS DE PROVISÕES						
6	FRIGORÍFICAS DE CARGA						
7	MÁQUINAS DE CONVÉS						
8	COZINHA/COPA						
9	LAVANDERIA						
10	OFICINAS						
11	ILUMINAÇÃO						
12	EQUIPAMENTOS NÁUTICOS/AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO						
13	EQUIPAMENTOS HOSPITALARES						
<b>TOTAL DOS GRUPOS</b>							
DEMANDA MÁXIMA POR CONDIÇÃO (kW)							
DEMANDA INCLUINDO MARGEM PARA CRESCIMENTO FUTURO DE 15% (kW)							
<b>POTÊNCIA GAM</b>		<b>kW</b>	<b>kVA</b>	<b>kW</b>	<b>kVA</b>		
DEMANDA MÁXIMA CALCULADA							
DEMANDA MÁXIMA COM MARGEM DE CRESCIMENTO FUTURO DE (15%)							
POTÊNCIA GAM #1							
POTÊNCIA GAM #2							
CORRENTE MÁXIMA DE ENERGIA DE TERRA (A) À 220V							

Fonte: ABNT NBR 7567, 1982.

O balanço elétrico foi realizado analisando cada subgrupo em seis situações normais em que a embarcação pode ser submetida, que são: navegando com equipamentos essenciais no mar; navegando em condições normais no mar; em manobra, cuja situação é o navio aportando ou deixando o porto; em carga e descarga, cuja situação é o navio operando no porto; no porto fundeado, cuja situação é o navio ao largo aguardando oportunidade para operar no porto ou manobrar e hospital operando, como se visualiza no Tabela 2 (ABNT NBR 7567, 1982).

Os fatores de simultaneidade são analisados de acordo com o subgrupo e situação que os equipamentos estão trabalhando, como é observado na Tabela 2. A NBR 7567 determina valores a serem utilizados diante o subgrupo, mas podem ser modificados em função da instalação e da orientação do fabricante do equipamento. Os fatores de carga podem ser definidos como o valor da razão entre a demanda média e a demanda máxima ocorrida no

mesmo instante de tempo. A NBR 7567 determina que na falta de dados deve ser tomado como base o fator de carga 0,9 (ABNT NBR 7567, 1982).

Após o levantamento de carga e balanço energético das situações em que a embarcação possa ser submetida, a organização das informações devem ser feitas de acordo com a Tabela 1 e 2, em que consta os equipamentos relacionados, a quantidade de equipamentos instalados na embarcação, a potência nominal em kW de cada equipamento, o fator de carga, o número de unidades em serviço, o fator de simultaneidade (ABNT NBR 7567, 1982). A potência absorvida (PA) é função da potência nominal (PN) e o fator de carga (FC), como mostrado na equação (1). A especificação do gerador leva em consideração um acréscimo percentual em torno de 15% de seu valor calculado, a fim de que eventuais instalações de novos equipamentos elétricos ou substituição de equipamentos por outros equipamentos com maiores potências e que demandam mais eletricidade do sistema elétrico possam ser atendidos pelo sistema de geração (ABNT NBR 7567, 1982).

$$PA = PN \times FC \quad (1)$$

As cargas essenciais críticas são equipamentos que operam de forma contínua, sua alimentação elétrica é mediante corrente contínua, seu dimensionamento é feito de acordo com a corrente demandada e o tempo de serviço para o cálculo do banco de baterias (IEEE STD 45, 2002).

Tabela 2 – Balanço elétrico dos Grupos de Cargas

PROJETO:		ESTALEIRO											
		CASCO:											
		NO MAR				EM MANOBRA		CARGA E DESC.	HOSP. OPER.	NO PORTO FUNDEADO			
		ESSENC.		NORMAL									
<u>GRUPO N:</u>		No DE UNIDADES INSTALADAS	POTÊNCIA NOMINAL	FATOR DE CARGA	POTÊNCIA ABSORVIDA	No DE UNIDADES EM SERVIÇO	POTÊNCIA ABSORVIDA	No DE UNIDADES EM SERVIÇO	POTÊNCIA ABSORVIDA	No DE UNIDADES EM SERVIÇO	POTÊNCIA ABSORVIDA	No DE UNIDADES EM SERVIÇO	POTÊNCIA ABSORVIDA
ITEM	DESCRIÇÃO DO CONSUMIDOR	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1													
2													
3													
	POTÊNCIA TOTAL ABSORVIDA												
	FATOR DE SIMULTANEIDADE												
	POTÊNCIA TOTAL A CONSIDERAR												

Fonte: ABNT NBR 7567, 1982.

### 2.2.1.1 SISTEMA DE GERAÇÃO PRINCIPAL PARA CARGAS NORMAIS

A capacidade do sistema de geração principal é constituído por dois geradores acionados por motores (GAM) marítimos instalados em paralelo, que dependendo do tipo de operação e da opção escolhida pelo cliente da embarcação podem ser instalados de outra forma. Geralmente fica apenas um GAM em funcionamento, pois um GAM é capaz de suportar todas as cargas, podendo ocorrer a transferência de carga em caso de falha do GAM principal ou os GAM podem trabalhar sob forma de rodízio de funcionamento, a fim de aumentar sua vida útil. Outra condição de funcionamento são os dois GAM trabalhando simultaneamente e com capacidade de alimentar toda a demanda de energia elétrica da embarcação (ABNT NBR 7567, 1982).

O GAM utiliza como principal combustível o gás, tendo o diesel como segunda opção de combustível, caso o gás não esteja disponível. As embarcações com utilização de GAM, se configuram como unidades termelétricas flutuantes, devido a queima de combustíveis fósseis para o seu funcionamento, onde gera sua própria energia, fornecendo alimentação elétrica para todos os processos de produção da embarcação (SAIDEL, 2013).

Usualmente para embarcações com dois GAM marítimos ligados em paralelo, com suas estruturas internas composta por um gerador síncrono de 4 pólos, ligado em estrela com

neutro acessível e classe de isolamento H. O nível de tensão gerado é de escolha do cliente ou o projetista pode determiná-la de acordo com a demanda da embarcação, com o objetivo de eficientizar o projeto e a instalação elétrica. A velocidade do rotor e frequência do sistema elétrico é escolhida de acordo com a região de operação da embarcação (IEEE STRD C37.102, 2006).

#### 2.2.1.2 SISTEMA DE ENERGIA DE TERRA

A embarcação, quando está atracada no porto, utiliza a energia elétrica vinda do próprio porto, conforme é mostrado na Figura 2. Devido à isto, se tem a nomenclatura energia de terra (ET). Com a utilização da ET, manutenções preventivas e corretivas podem ser realizadas em vários equipamentos que operam em situações de navegação. O valor de energia elétrica que o porto deve repassar a embarcação é calculada através do subgrupo porto fundeado, observado da Tabela 1 (ABNT NBR 7567, 1982).

A conexão no porto, para a entrega da ET, é realizada através do plugue/tomada, que se conecta diretamente a caixa de energia de terra (CET), que fica localizado usualmente perto dos bordos da embarcação. A CET possui disjuntores de proteção que se conectam ao barramento do quadro elétrico principal (QEP) (SANES, 2015).

No ponto de conexão, observando a face do soquete, o sequenciamento das fases deve ser L1-L2-L3, A-B-C ou R-S-T e o sistema deve ser balanceado para evitar qualquer risco de defeito em equipamentos elétricos e choque elétrico. O diagrama de sequenciamento de fase deve ter seus fasores rotacionados no sentido antihorário com referência no observador fixo (IEC 60092, 2005).

Figura 2 – Exemplo de ligação da ET.



### 2.2.1.3 SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA PARA CARGAS ESSENCIAIS CRÍTICAS

Em embarcações, o sistema DC possui níveis de tensões de 12, 24, 48 e 125 V em corrente DC. A energia elétrica em corrente DC é proveniente da alimentação em corrente AC, vinda do QEP ou de outro quadro de distribuição próximo ao quadro de corrente DC (KANTHARIA, 2013).

O sistema é composto geralmente por carregadores/retificadores, carregadores ou retificadores que recebem a alimentação em corrente AC e convertem seu sinal para DC, abaixando o nível de tensão para o nível equivalente aos que podem ser utilizados pelos aparelhos eletrônicos e componentes elétricos utilizados na embarcação, que são conectados aos painéis de distribuição de corrente DC (IEEE STD 485, 1997).

O método de dimensionamento dos carregadores/retificadores, carregadores ou retificadores obedece às normas da IEEE STD 485 e a ISO 8466, que consiste no levantamento de cargas para cada quadro de distribuição em corrente contínua. Após a especificação das cargas e de suas potências ativas é dimensionado os carregadores/retificadores, carregadores ou retificadores, sendo aplicado o fator de simultaneidade que varia de acordo com as aplicações dos equipamentos locados no quadro de distribuição, considerando uma margem de projeto para ampliações futuras (IEEE STD 485, 1997; ISO 8466, 2007).

O grupo de baterias para cargas do quadro de distribuição em corrente contínua deve ser do tipo estacionária e seu dimensionamento é feito de acordo com a IEEE STD 485, sendo levado em consideração o modelo da bateria estacionária que se deseja utilizar, a capacidade de reserva (C), o tempo de descarga (R), a corrente da carga utilizada no quadro (I), o expoente de Peukert (n) e o tempo em horas que a bateria suporta com a embarcação em funcionamento normal (T) (IEEE STD 485, 1997; BRONDANNI, 2015).

Para determinação do tempo de funcionamento do grupo de baterias é utilizada a lei de Peukert, conforme a equação (2) (BRONDANNI, 2015).

$$T = R \times \frac{C^n}{(I \times R)^n} \quad (2)$$

O expoente de Peukert varia em função do tipo de bateria e para o uso náutico é geralmente utilizado baterias estacionárias do tipo chumbo-ácido, portanto o seu valor fica entre 1,2 e 1,6. A equação (2) é muito utilizada para a previsão do tempo de funcionamento da

bateria, mas existe limitações que devem ser consideradas, pois o expoente de Peukert aumenta com efeito da temperatura e com a idade da bateria, sendo que os cálculos são para uma taxa de descarga de baixa, sem considerar a bateria ter uma taxa de auto-descarga (BRONDANNI, 2015).

### 2.3 PROTEÇÕES DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Em qualquer lugar com ambiente severo e regime de funcionamento intermitente ou contínuo de equipamentos elétricos, como no local onde são instalados os motores, GAM e entre outros, é recomendável a utilização de mecanismos que trabalhem com a função de proteção, afim de evitar desgastes desnecessários, manobras incorretas e falhas que ocasionem riscos de choque elétrico (IEEE Std 242, 2001).

O agente supervisor humano não consegue supervisionar visualmente todos os equipamentos elétricos e eletrônicos dentro de uma área de trabalho, por isso, a automação industrial é fundamental para a proteção da rede de energia elétrica. Com a automação, qualquer eventual falha que venha a ocorrer no sistema elétrico é sinalizado com alarmes visuais e sonoros, sendo também necessário modos de prevenção de curtos, sobretensão, subcorrente e etc. por via de controladores, relés e dispositivos de monitoração (IEEE Std 242, 2001).

Embarcações possuem regime de operação bastante variado, como visto na Tabela 1, devido a isto, certas máquinas possuem modos de funcionamento em que não podem trabalhar simultaneamente, sendo essencial controladores, relés e dispositivos de monitoração para a rede de energia elétrica da embarcação se manter segura e estável, pois estes equipamentos são projetados para atuarem caso ocorra alguma anomalia, servindo, assim, para prevenir eventuais acidentes, danificação de aparelhos e choques elétricos (SERAPIÃO, 2012).

#### 2.3.1 Proteção elétrica dos GAM

Em ambientes marítimos, os GAM são a principal fonte de energia elétrica. Em certos casos os geradores fornecem totalmente ou parcialmente a energia elétrica requisitada dentro de uma embarcação, ou até mesmo trabalhar como fonte de alimentação elétrica de emergência. As aplicações dos GAM podem ser classificadas em: GAM único isolado, GAM múltiplos isolados, GAM conectados à unidade, GAM para cogeração e GAM de indução. No presente trabalho é observado o GAM múltiplo isolado (BLACKBURN;DOMIN, 2007).

A proteção dos GAM requer a atenção para adversas condições anormais que se apresentam em outros elementos do sistema elétrico do barco, estas condições anormais são (BLACKBURN;DOMIN, 2007):

- Sobreaquecimento;
  - Estator (Devido a sobrecarga ou perda de resfriamento);
  - Rotor (Devido a sobreexcitação ou perda de resfriamento);
  
- Faltas no enrolamento;
  - Estator (Faltas de fase ou terra);
  - Rotor (Faltas à terra)
  
- Sobrevelocidade e subvelocidade;
- Sobretensão;
- Perdas de excitação;
- Motorização
- Operação com correntes desequilibradas;
- Perdas de sincronismo;
- Oscilações Subsíncronas;
- Energizações Inadvertidas ;

As funções para os relés de proteção que são normalmente consideradas para o projeto de engenharia na inclusão de um GAM no sistema elétrico da embarcação são:

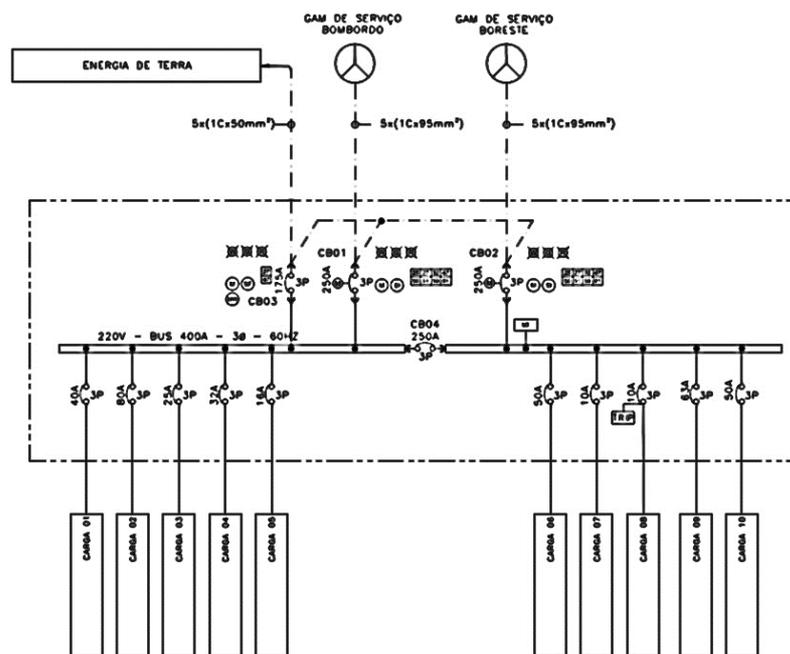
- a) Proteção de sobrecorrente (50, 51);
- b) Proteção diferencial (87);
- c) Proteção de subtensão (27);
- d) Proteção de sobretensão (59);
- e) Proteção de sequência negativa (46);
- f) Proteção de motorização (32);

- g) Proteção de perda de sincronismo (78);
- h) Proteção de terra (*ground*)(64);
- i) Proteção de frequência (81);

## 2.4 OPERAÇÃO DO SISTEMA

Os GAM são conectados ao QEP, internamente é constituído de dois barramentos denominados de barramento A e barramento B, interligados através de um disjuntor, denominado *bus-tie*, que geralmente fica no modo fechado. O GAM principal se conecta no barramento A e o GAM secundário se conecta no barramento B, desta maneira o QEP não precisa estar totalmente desenergizado para ser realizada alguma operação de manutenção, exemplificado-se na Figura 3.

Figura 3 – Esquema típico do diagrama unifilar.



O sistema da embarcação irá operar mediante a escolha do proprietário, mas seguindo a norma IEC 60092. A condição mais segura e eficaz para a navegação tanto em mar aberto ou em rios é apenas com único GAM operando em condições normais, enquanto o outro GAM permanece em *standy-by* ou reserva (IEC 60092, 2005).

O intertravamento entre os dois GAM não permite a operação em paralelo, com exceção de quando estiver ocorrendo a transferência de carga do GAM principal para o GAM secundário ou o contrário.

A partir do QEP é feita a energização das cargas mais elevadas e dos painéis secundários é feita a energização das cargas em 220 *voltage alternated current* (VAC) ou outras tensões. O QEP recebe o suprimento de energia elétrica vindo do quadro de energia de terra quando a embarcação está na situação de porto fundeado.

No caso de falha do GAM em operação, a embarcação entra em situação de navegação de emergência em um intervalo de 30 a 45 segundos o GAM em *standby* é acionado, tornando-se a fonte geradora de energia elétrica da embarcação. Caso ocorra *blackout*, os grupos de baterias são acionadas, alimentando as cargas essenciais críticas (IEC 60092, 2005).

Na situação em que o GAM principal falhe e desenergize o quadro de cargas essenciais, o sistema de UPS (*Uninterruptible Power Supply*) deverá assumir a alimentação destas cargas pelo tempo mínimo de 15 minutos por meio de um banco de baterias. Quando o GAM em *standby* estiver em pleno funcionamento o banco de baterias da UPS é desacionado e entra em estado de carregamento (IEC 62040-3, 1999).

### 3 MÉTODOLOGIA PROPOSTA

É apresentado neste capítulo os métodos empregados para atingir o objetivo geral, que seria propor a integração dos componentes para uma eficiente análise de carga, geração e distribuição de energia elétrica do barco hospital, obtendo-se como resultado do problema de pesquisa o esclarecimento sobre o emprego das normas nacionais e internacionais de instalação elétrica em um hospital naval.

Para que sejam atingidos os objetivos estabelecidos, foram adotados os procedimentos metodológicos apresentados nas subseções a seguir.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO E ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Para a elaboração da pesquisa, foram utilizados os procedimentos de pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica é realizada a partir do registro disponível publicamente, de pesquisas anteriores, em documentos impressos como revistas, livros, pesquisas, teses, dissertações, podendo-se aproveitar as contribuições dos autores dos estudos apresentados (CAUCHICK *et al.*, 2018).

A pesquisa documental, foi feita a partir de dados coletados de obras navais com características semelhantes ao BHPF, também sendo feita a observação e consulta de instalações elétricas em EAS e das variáveis que podem surgir a partir da integração de uma embarcação com uma EAS (MARCONI; LAKATOS, 2017). A pesquisa documental possui como característica “a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias. Estas podem ser feitas no momento em que o fato ou fenômeno ocorre, ou depois” (MARCONI; LAKATOS, 2017, p. 174).

Para o estudo em questão, este procedimento técnico proporcionou analisar o processo de criação de um projeto de instalações elétricas de embarcações operando como uma EAS no estaleiro INACE, seguindo as normas internacionais e nacionais, a fim de manter uma instalação elétrica com um padrão de qualidade excelente, entregando-se ao cliente o melhor que se pode oferecer no mercado mundial em termos de uma instalação elétrica naval hospitalar.

### 3.2 ESTUDO DE CASO – INDÚSTRIA NAVAL DO CEARÁ (INACE)

O objeto de estudo apresenta poucos documentos na literatura nacional que tratam de seu assunto diretamente, assim buscou-se empregar uma metodologia para facilitar a entrega de informações ao leitor que tenha interesse pelo assunto, sendo escolhido o estudo de caso. “O estudo de caso deve ser significativo e bem representativo, de modo a ser apto a fundamentar uma generalização para situações análogas, autorizando interferências” (SEVERINO, 2013, p. 121).

Deste modo, o estudo de caso foi utilizado como forma de analisar o processo de criação de um projeto de instalações elétricas de embarcações operando como uma EAS no estaleiro INACE, seguindo as normas internacionais e nacionais

### 3.3 APLICAÇÃO DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Após a verificação nos dados coletados, foram realizados estudos de compatibilidade entre desenhos e de atuações do sistema elétrico do barco hospital, visando a melhoria no entendimento dos desenhos e correções de problemas vistos durante o estudo. A documentação foi obtida pelo diretor da área de comercialização da INACE, que é o superior da equipe de projetos eletrônicos, responsáveis pelo processo de criação de um projeto de instalações elétricas de embarcações operando como uma EAS no estaleiro INACE. Os desenhos quando sofriam alterações, imediatamente eram disponibilizados.

### 3.4 MÉTODO DE COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Nesta seção será apresentado o método de coleta, tabulação e tratamento dos dados que foram utilizados para análise dos resultados da pesquisa.

#### 3.4.1 Coleta dos dados

A coleta de dados “é definida de acordo com o desenvolvimento que o projeto vai seguir, em que pela quarta técnica, a análise de conteúdo, que possui os documentos como fonte de pesquisa” (CAUCHICK *et al.*, 2018).

A documentação do barco hospital teve início em abril de 2018 com a finalização em maio de 2019, toda a documentação foi disponibilizada desde o começo da obra, em que todas as informações necessárias para análise dos dados desta pesquisa foram obtidas sem dificuldades e sem restrições. Após a análise dos dados das documentações, foram retiradas as informações para a realização da tabulação dos dados qualitativos.

## 4 RESULTADOS

As condições de operação analisadas neste documento foram extraídas das normas mencionadas no tópico 2.1, levando-se em consideração as características específicas da operação de atendimento hospitalar informadas e validadas pelos proprietários responsáveis do BHPF e pelos devidos responsáveis pela operação de atendimento hospitalar. As especificidades de construção também foram atendidas para a realização do projeto do BHPF.

A embarcação, independente de sua situação de operação, que de acordo com a NBR 7567 são: no mar, em manobra, carga e descarga e no porto fundeado, terá sua a demanda de potência ativa suprida por um único GAM que possua potência nominal mínima de 130,7 kW, com a margem de projeto de 15% a demanda cresce para 149,77 kW de potência ativa, logo a potência ativa mínima dos GAM é de 150 kW, tendo um segundo GAM, de mesma potência ativa, como *backup* em caso de falha do primeiro.

### 4.1 BALANÇO ELÉTRICO DO BHPF

Para o balanço elétrico da geração principal em corrente AC foi listado todas as cargas do BHPF, sendo as cargas separadas em grupos conforme os Tabela 1 e Tabela 2. A partir das informações obtidas da Tabela 1 é determinado o GAM a ser utilizado no BHPF.

As cargas em corrente contínua foram separadas em grupos, em que cada grupo representa um painel DC. Com as informações das cargas de cada painel é obtido o valor da potência do carregador/retificador e posteriormente o tempo de descarregamento do banco de baterias para cada painel DC.

A divisão dos equipamentos hospitalares críticos foi organizada com o princípio de alimentação constante, sem flutuações para os seguintes componentes: máquinas essenciais ao suporte à vida, aos equipamentos que ficam localizados no centro cirúrgico e os equipamentos que ficam na praça de recuperação pós anestésica (R.P.A.).

Após a análise de cada grupo é formada a Tabela 3, onde é visualizada a condição de maior consumo de energia elétrica do BHPF, sendo realizada a determinação da potência necessária do GAM que é utilizado na embarcação, suas proteções e a proteção da ET.

A geração principal da embarcação será constituída por dois GAM, porém um fica em funcionamento suportando toda a carga da instalação elétrica enquanto o outro permanece como *backup*. A partir da Tabela 3 visualiza-se a situação de maior consumo de eletricidade do BHPF, que é a situação do hospital operando, pois demanda uma potência da instalação de 130,23 kW.

Tabela 3 – Resumo do balanço elétrico do BHPF.

PROJETO: INACE		INDÚSTRIA NAVAL DO CEARÁ					
		CASCO: 662 - PAPA FRANCISCO					
GRUPO	CLASSIFICAÇÃO	NO MAR		EM MANOB.	CARGA E DESC.	HOSP. OPER.	NO PORTO FUND.
		ESSENCIAL	NORMAL				
1	PRAÇA DE MÁQUINAS - SERVIÇO CONTÍNUO	5,74	8,44	5,74	5,74	8,44	0,00
2	PRAÇA DE MÁQUINAS - SERVIÇO INTERMITENTE	2,40	2,88	2,88	2,40	2,08	0,22
3	PRAÇA DE MÁQUINAS - DIVERSOS	3,96	5,27	5,27	5,27	6,54	6,59
4	AR CONDICIONADO/ VENTILAÇÃO/ AQUECIMENTO	0,00	29,57	13,57	13,57	44,53	30,28
5	FRIGORÍFICAS DE PROVISÕES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	FRIGORÍFICAS DE CARGA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	MÁQUINAS DE CONVÉS	0,47	0,94	3,53	0,40	2,94	2,68
8	COZINHA/COPA	0,00	10,57	0,00	0,00	10,57	10,57
9	LAVANDERIA	0,00	2,43	0,00	0,00	2,43	2,43
10	OFICINAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	ILUMINAÇÃO	4,12	18,11	3,34	5,80	18,11	18,11
12	EQUIPAMENTOS NÁUTICOS/AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO	2,52	2,64	2,52	2,63	2,63	2,63
13	EQUIPAMENTOS HOSPITALARES	0,00	0,00	0,00	0,00	31,95	0,28
<b>TOTAL DOS GRUPOS</b>							
DEMANDA MÁXIMA POR CONDIÇÃO (kW)		<b>19,20</b>	<b>80,86</b>	<b>36,86</b>	<b>35,81</b>	<b>130,23</b>	<b>73,79</b>

DEMANDA INCLUINDO MARGEM PARA CRESCIMENTO FUTURO DE 15% (kW)	22,08	92,99	42,39	41,19	149,77	84,86
*FATOR DE POTÊNCIA = 0,8 INDUTIVO						
<b>POTÊNCIA GERADORES</b>	<b>kW</b>	<b>kVA</b>	<b>kW</b>	<b>kVA</b>		
DEMANDA MÁXIMA CALCULADA	130,23	162,79	73,79	92,24		
DEMANDA MÁXIMA COM MARGEM DE CRESCIMENTO FUTURO DE (15%)	149,77	187,21	84,86	106,07		
HOSPITAL OPERANDO			FUNDEADO			
POTÊNCIA GERADOR #1 = 150 kW						
POTÊNCIA GERADOR #2 =150 kW						
CORRENTE MÁXIMA DE ENERGIA DE TERRA (A) À 220 V	270,76					

Para eventuais cargas futuras foi adicionado uma margem de potência no projeto de 15% em relação as cargas futuras ou prevendo uma possível substituição por equipamentos com potência ativa mais elevadas. Com a margem de projeto, a situação do hospital operando possui demanda de 149,77 kW, logo a potência ativa escolhida para os GAM é de 150 kW. Na Tabela 4 é apresentado as especificações principais do GAM fabricado pela WEICHAI, modelo CCFJ150J-W.

Tabela 4 – Especificações principais do GAM do CCFJ150J-W.

ITEM	CONTEÚDO
MODELO DO GERADOR	CCFJ150J-W
POTÊNCIA NOMINAL (kW)	150
TENSÃO NOMINAL (V)	230
FREQUÊNCIA NOMINAL (Hz)	60
CORRENTE NOMINAL (A)	492
FATOR DE POTÊNCIA	0,8
VELOCIDADE NOMINAL (r/min)	1500
MODO DE PARTIDA	MOTOR ELÉTRICO
MODO DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE	REGULAÇÃO DE VELOCIDADE ELÉTRICO REGULAÇÃO DE VELOCIDADE MECÂNICO
MODO DE EXCITAÇÃO	AUTO EXCITAÇÃO SEM ESCOVA
MODO DE REGULAÇÃO DE TENSÃO	AUTOMÁTICO
MODE DE CABEAÇÃO	3Φ; 4 CABOS; CONEXÃO Y – NEUTRO ATERRADO

Fonte: WEICHAI, 2019.

Para a proteção das cargas dos circuitos de distribuição do QEP e dos demais painéis no BHPF, foi utilizado disjuntores com corrente nominal que possam suportar e proteger suas respectivas cargas, além disso, o convés principal e a praça de máquinas possuem painéis que

têm o disjuntor diferencial residual (DR) como proteção de entrada. Os DR's também foram utilizados para os chuveiros elétricos no convés do passadiço.

Nos painéis de corrente contínua seu método de proteção é o uso de disjuntores de proteção e a indicação de fuga à terra positiva e negativa, para que se evite qualquer dano aos equipamentos energizados por estes painéis.

Os cabos elétricos que saem dos painéis de distribuição são levados as suas respectivas cargas através de rotas mecânicas que foram em eletrocalhas e leito econômicos instalados através de cantoneiras em forma de L ou barras chatas em formato de U, outra forma de rota seria a utilização de barras chatas em formato de U soldadas na estrutura, que servem para a subida e descida em anteparas ou para os cabos elétricos percorrerem cavernas e longitudinais da embarcação, como visto na Figura 4.

Figura 4 – Rota de cabos elétricos no convés principal do BHPF.



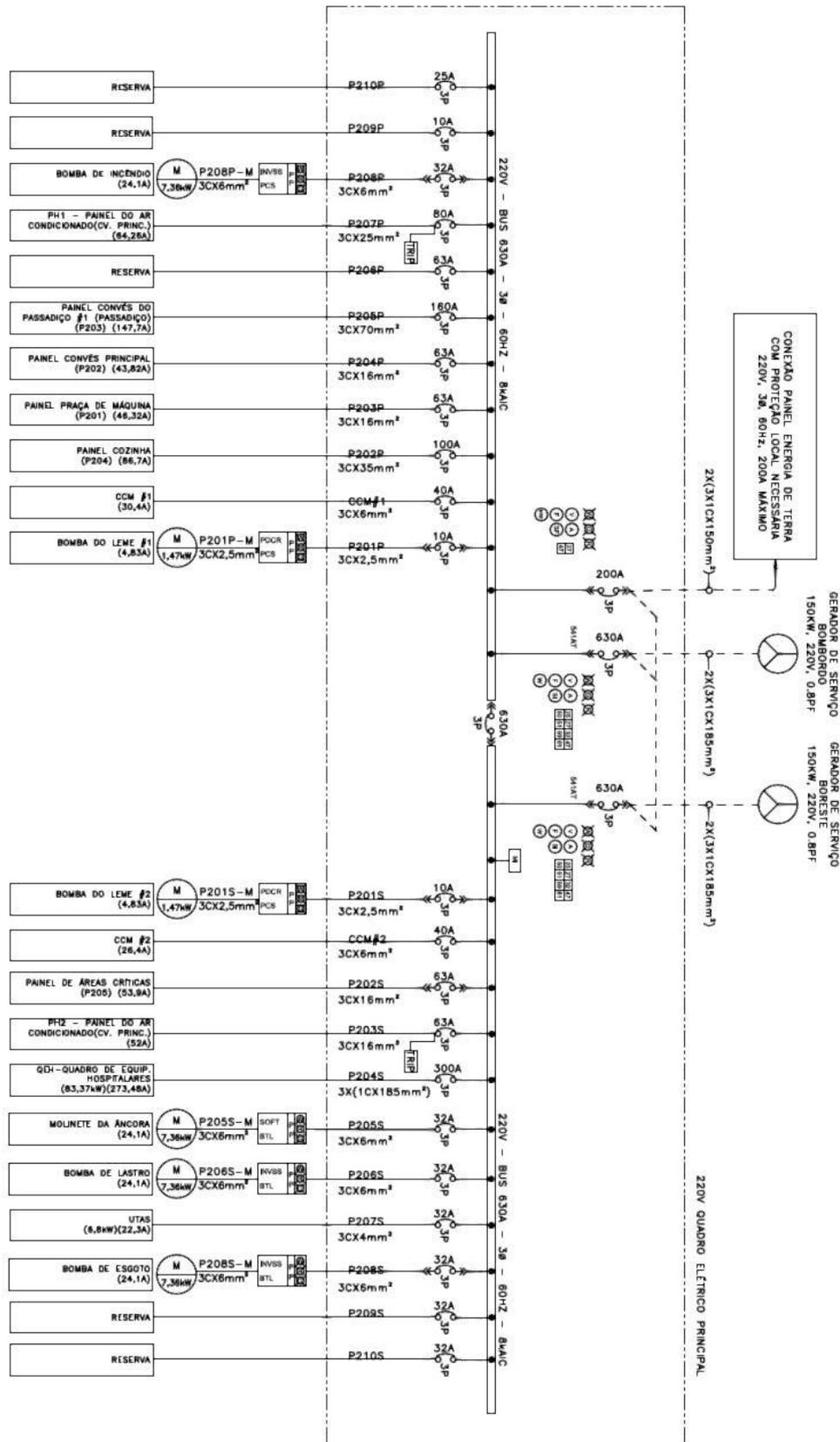
O dimensionamento dos disjuntores foi feito a partir das potências ativas das cargas dos circuitos de distribuição de cada painel, na Tabela 5 são especificados as correntes nominais a serem empregadas nos circuitos de distribuição do QEP. Na entrada da ET foi achada uma corrente de 270,76 A, com o cliente solicitando a utilização de um disjuntor de 200 A por conta e próprio e risco, como mostrado em destaque em **negrito** na Tabela 5.

Tabela 5 – Tabela resumo das cargas do QEP no BHPF.

TAG	DE	PARA	CARGA (kW)	NÍVEL DE TENSÃO	FASE	CORRENTE (A)	DISJUNTOR (A)
CB01	GERADOR BB	QEP	150	TRIFÁSICO	ABC	492,06	630
CB02	GERADOR BE	QEP	150	TRIFÁSICO	ABC	492,06	630
<b>CB03</b>	<b>QEP</b>	<b>CAIXA DE ENERGIA DE TERRA</b>	<b>82,54</b>	<b>TRIFÁSICO</b>	<b>ABC</b>	<b>270,76</b>	<b>200</b>
P201P	QEP	BBA DE LEME #1	1,47	TRIFÁSICO	ABC	4,82	10
CCM #1	QEP	CCM #1	9,26	TRIFÁSICO	ABC	30,38	40
P202P	QEP	PAINEL COZINHA	26,43	TRIFÁSICO	ABC	86,70	100
P203P	QEP	PAINEL PRAÇA DE MÁQUINAS	14,12	TRIFÁSICO	ABC	46,32	63
P204P	QEP	PAINEL DO CONVÉS PRINCIPAL	9,26	TRIFÁSICO	ABC	30,38	63
P205P	QEP	PAINEL DO CONVÉS DO PASSADIÇO	45,02	TRIFÁSICO	ABC	147,68	160
P206P	QEP	RESERVA	-	TRIFÁSICO	ABC	-	63
P207P	QEP	PAINEL DO AR CONDICIONADO CONVÉS PRINCIPAL	19,59	TRIFÁSICO	ABC	-	80
P208P	QEP	BOMBA DE INCÊNDIO	7,36	TRIFÁSICO	ABC	24,14	32
P209P	QEP	RESERVA	-	TRIFÁSICO	ABC	-	10
P2010P	QEP	RESERVA	-	TRIFÁSICO	ABC	-	25
P201S	QEP	BBA DE LEME #2	1,47	TRIFÁSICO	ABC	4,82	10
CCM #2	QEP	CCM #2	9,26	TRIFÁSICO	ABC	4,82	40
P202S	QEP	PAINEL DE ÁREAS CRÍTICAS	16,43	TRIFÁSICO	ABC	30,38	63
P203S	QEP	PAINEL DO AR CONDICIONADO CONVÉS PRINCIPAL	15,85	TRIFÁSICO	ABC	53,90	63
P204S	QEP	QEH-QUADRO DE EQUIP. HOSPITALARES	83,37	TRIFÁSICO	ABC	51,99	300
P205S	QEP	MOLINETE DA ÂNCORA	7,36	TRIFÁSICO	ABC	273,49	32
P206S	QEP	BOMBA DE LASTRO	7,36	TRIFÁSICO	ABC	24,14	32
P207S	QEP	UTAS	6,8	TRIFÁSICO	ABC	24,14	32
P208S	QEP	BOMBA DE ESGOTO	7,36	TRIFÁSICO	ABC	22,31	32
P209S	QEP	RESERVA	-	TRIFÁSICO	ABC	-	32
P2010S	QEP	RESERVA	-	TRIFÁSICO	ABC	-	32

Na Figura 5 é mostrado o diagrama unifilar do QEP do BHPF, nele está concentrado a entrada da geração de energia elétrica dos GAM, a saída para os circuitos de distribuição e a conexão com a energia de terra.

Figura 5 – Diagrama Unifilar do QEP do BHPF.



O método de proteção nos painéis de corrente contínua é através do uso de disjuntores de proteção e da indicação da corrente de fuga à terra, a fim de se evitar danos aos equipamentos energizados por estes painéis;

#### 4.2 ANÁLISE DO SISTEMA ELÉTRICO DO BHPF EM CONDIÇÃO DE NAVEGAÇÃO

Em condição de navegação o BHPF apresenta demanda de potência ativa de 80,86 kW, aplicando uma margem de 15% para cargas futuras, este valor sobe para 92,99 kW. A operação normal do BHPF em situação de navegação, será um GAM suprindo todas as cargas da embarcação com o segundo GAM em *standby*, podendo os GAM operarem em paralelo para transferências de cargas através do controlador DSE8610 instalado no QEP. O esquema de aterramento utilizado para o sistema de distribuição de energia elétrica no BHPF é o TT, em que a alimentação é diretamente aterrada e todas as massas são aterradas por um eletrodo de aterramento diferente do utilizado na fonte de alimentação.

Na distribuição de energia elétrica, as cargas trifásicas são alimentadas em 220 V AC com fator de potência 0,8, cujos disjuntores de proteção possuem 3 pólos. As cargas monofásicas, que comumente são alimentadas por fase e neutro em instalações elétricas prediais, serão alimentadas por duas fases neste projeto, portanto, utiliza-se a tensão de linha de 220 V AC para a alimentação destas cargas monofásicas, cujos disjuntores de proteção possuem 2 pólos, sendo isso possível devido aos GAM do BHPF terem ligação estrela com o neutro aterrado.

O sistema de detecção de incêndio e o sistema de parada de emergência operam para evitar que acidentes ocorram no BHPF. O sistema de parada de emergência é instalado no sistema que trabalha com óleo combustível, pois caso haja algum incêndio dentro da embarcação é cortada a alimentação elétrica da bomba de transferência de óleo combustível, a fim de que não jorre óleo no fogo, causando o aumento do incêndio.

O sistema de ventilação dentro e fora da praça de máquinas tem sua alimentação elétrica cortada pelo sistema de parada de emergência, porque caso haja incêndio dentro do BHPF, evita-se que a fumaça liberada pelo fogo vá para outros compartimentos através dos dutos de ventilação. Caso ocorra algum descontrole dos equipamentos de aquecimentos da cozinha que possa gerar riscos de incêndio no BHPF, deve-se acionar a botoeira de parada de emergência ou abrir o disjuntor do circuito da cozinha, a fim de cortar a energização destes equipamentos.

#### 4.3 ANÁLISE DO SISTEMA ELÉTRICO DO BHPF EM CONDIÇÃO DE *BLACKOUT*

A condição de *blackout* no BHPF ocorre quando os dois GAM apresentam falhas simultaneamente, tendo como resultado o estado de desligamento, logo, os bancos de baterias são acionados e passam a ser a principal fonte de energia elétrica na embarcação.

A iluminação de emergência é ativada assim que ocorre a desenergização do sistema elétrico CA, as luminárias de emergência possuem baterias internas que possuem tempo de duração de aproximadamente 3 horas e estão posicionadas próximas a saídas dos compartimentos e nas escadas.

Os carregadores/retificadores são os responsáveis por detectar a falta de energia CA e reorganizar o sistema elétrico através de mecanismos internos, que são sensíveis a falta de energia elétrica. Em seguida são acionados os bancos de baterias, que tornam-se a fonte de energia elétrica durante o *blackout*.

O sistema em CC no BHPF é em 24 V DC, formado por dois carregadores/retificadores, localizados no passadiço e outro na praça de máquinas. As baterias devem ser fornecidas vedadas e sem terem sido reconduzidas, para suprir as cargas essenciais com riscos mínimos de falhas. As baterias estacionárias são utilizadas para os sistemas de distribuição.

Na ocorrência de *blackout* com o BHPF em movimento, sistemas de controle de governo ainda ficam ativos durante o tempo encontrado segundo a equação (2), para que seja possível a manobra da embarcação com a manutenção do curso do navio no leito do rio, outros componentes importantes são mantidos energizados pelo sistema elétrico em DC, para que sejam colocados em *standby* ou desligados caso seja necessário.

#### 4.4 ANÁLISE DO SISTEMA ELÉTRICO DO BHPF FUNDEADO NO PORTO

A ET é utilizada quando a embarcação está no estado de fundeamento no porto, apresentando demanda de potência ativa de 73,79 kW, aplicando uma margem de 15% para cargas futuras, este valor sobe para 84,86 kW. A operação normal do BHPF operando em fundeamento no porto, será com os dois GAM desligados com a tomada de ET suprindo todas as cargas da embarcação.

O controlador DSE8610 do fabricante DEEPSEA instalado no QEP, é configurado para não permitir a operação paralela dos GAM com a ET. O sistema de ar condicionado, iluminação e os equipamentos da cozinha e refeitório, são os principais componentes que demandam potência ativa para essa condição de navegação.

O maquinário instalado na praça de máquinas ficam desernegizados quando o BHPF está fundeado no porto, permitindo a realização de manutenções preventivas e aumentando a sua vida útil.

Os equipamentos na cozinha e no refeitório tem sua energização cortada, pois possuem equipamentos que trabalham com aquecimento de alimentos e que podem gerar riscos de incêncio. Caso ocorra a situação de incêncio é necessário acionar a botoeira de parada de emergência ou desligar o disjuntor do circuito de alimentação.

O plugue macho para a conexão da ET é oriunda do CET, este plugue é interligado ao QEP e deve ser compatível ao plugue fêmea oferecido pelo porto. Para a conexão da ET deve notificar o porto sobre a configuração do sistema elétrico utilizado no BHPF, que é de 220 V AC, trifásico com neutro aterrado, na frequência de 60 Hz. O controlador DSE8610 realiza a leitura da energia elétrica de entrada oferecida pelo porto, caso algo esteja fora dos parâmetros determinados como condição normal, envia-se o sinal de *trip* para o disjuntor de entrada da ET para que ele abra seus contatos.

#### 4.5 ANÁLISE DO SISTEMA ELÉTRICO DO BHPF OPERANDO COMO HOSPITAL

Em condição de hospital operando o BHPF apresenta demanda de potência ativa de 130,23 kW, aplicando uma margem de 15% para cargas futuras, este valor sobe para 149,77 kW. Configurada como o modo de operação que mais demanda energia elétrica do BHPF, cujo valor de potência foi o valor para o requisito do GAM de 150 kW do fabricante WEICHAI, modelo CCFJ150J-W.

Em atendimento hospitalar existe a possibilidade dos dois GAM funcionarem em paralelo e sincronizados, repartindo a carga em 50% e 50%, em que caso haja falha em um dos GAM, o outro irá suprir toda a demanda de potência ativa do BHPF, sem que hajam variações bruscas de tensão no fornecimento de energia.

O sistema de distribuição elétrica para os equipamentos hospitalares está dividido pelo QEH e o painel de áreas críticas apresentado na Figura 30. O QEH energiza as máquinas mais robustas que operam na ala hospitalar do BHPF, tais como: o raio X, mamógrafo e outros.

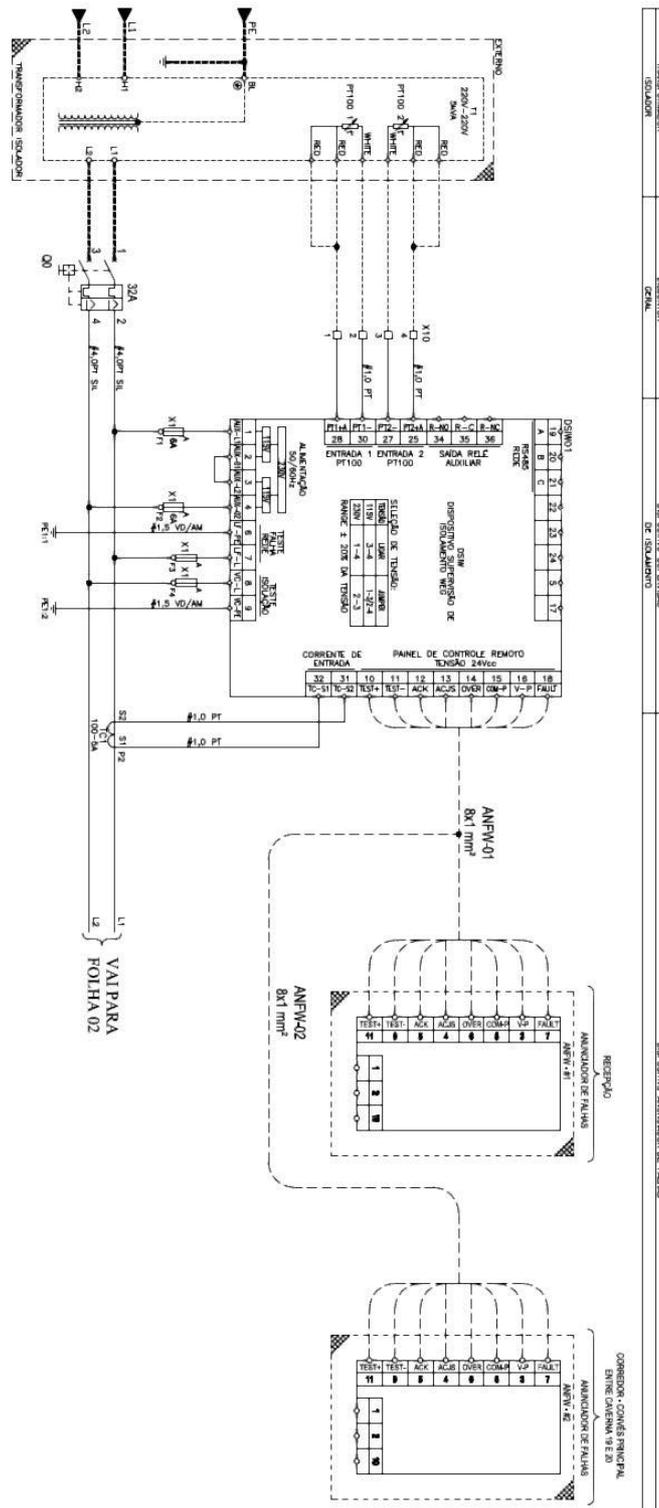
O painel de áreas críticas é conectado a uma UPS de 30 kVA, em que sua função é fornecer energia elétrica emergencial ao painel de áreas críticas, pois caso ocorra a situação de *blackout*, o banco de baterias destinado a UPS deve suprir o painel de áreas críticas por pelo menos 15 minutos, devido aos equipamentos hospitalares contidos no núcleo cirúrgico, R.P.A., enfermaria e o compressor de ar de oxigenação, que possuem características especiais,

cujo funcionamento dá suporte à vida. O painel de áreas críticas é o responsável por alimentar todas as cargas essenciais dentro do BHPF.

O quadro de IT médico é alimentado em 220 V AC pelo painel de áreas críticas, sua função é disponibilizar energia elétrica para tomadas de uso específico de equipamentos essenciais ao suporte à vida dentro do núcleo cirúrgico, R.P.A. e a enfermaria, evitando interrupções na distribuição de energia elétrica reduzindo correntes de fuga circulando pelo condutor de proteção, diminuindo a tensão de contato e a intensidade do choque elétrico acidental, beneficiando os equipamentos eletromédicos, tanto para os regimes de operação, quanto para preservação de sua vida útil.

O sistema de IT médico provém de transformadores de separação que converte o sistema de aterramento do BHPF do esquema TT para o esquema IT, que é aterrado por uma alta impedância que não permite variações nos níveis de corrente. O dispositivo supervisor de isolamento do sistema IT mede a impedância entre os condutores de proteção e de alimentação elétrica, enviando um sinal de alarme para os anunciadores de falhas no núcleo cirúrgico, R.P.A. e recepção quando atinge valores abaixo de 50 k $\Omega$ , como visto na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama Unifilar do Quadro de IT Médico do BHPF.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho foi realizar uma metodologia de estudo do projeto elétrico de uma embarcação com função de atendimento hospitalar, devido a dificuldade ao acesso de

informações na biblioteca nacional referente à este tipo de projeto. Este projeto inicializa-se no balanço elétrico, que é feito para dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica, também sendo abordado aspectos relativos à instalação elétrica e os sistemas de proteção elétrica, que visam garantir a integridade dos indivíduos e dos equipamentos a bordo.

O balanço elétrico no BHPF tem por finalidade o dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica em corrente alternada (AC) e em corrente contínua (DC). Em CA, este dimensionamento é feito mediante a análise de cargas elétricas divididas em grupos e condições de operação distintas dos equipamentos elétricos, visando-se encontrar a energia demandada pela embarcação e, assim, dimensionando-se o gerador. Foram escolhidos dois GAM de 150 kW de potência ativa cada, possuindo ligação estrela com o neutro aterrado, 4 pólos, classe de isolamento H, 220 V AC, 3 $\Phi$ , com rotação em 1500 RPM e frequência de 60 Hz.

Em CC, este dimensionamento é feito mediante a análise das cargas elétricas, a fim de dimensionar os bancos de baterias, que em caso de *blackout*, tornam-se a fonte de energia do BHPF por pelo menos duas horas de serviço contínuo. Neste sistema estão cargas como: iluminação de emergência, sistemas de controle de governo e propulsão.

O sistema elétrico do BHPF é operado através do quadro elétrico principal (QEP), que recebe em seu barramento a energia elétrica fornecida pelo GAM em funcionamento. O controlador interno DSE8610 do QEP irá configurar a rede de energia elétrica para atender a demanda de eletricidade de acordo com o modo de operação do BHPF. O controlador DSE8610 é configurado para não permitir a operação paralela dos GAM com a ET.

Na condição do barco operando no modo hospital a fonte principal de energia elétrica é o GAM. A NBR 13534 exige um sistema elétrico de emergência em casos de *blackout*, a fim de fornecer energia elétrica para os equipamentos hospitalares por pelo menos mais 3 horas de duração, para atender este requisito o GAM de *backup* no BHPF é considerado como gerador de emergência.

O sistema de IT médico provém de transformadores de separação que converte o sistema de aterramento do BHPF do esquema TT para o esquema IT, que é aterrado por uma alta impedância. No quadro de IT médico sua alimentação de entrada é fornecida pelo painel de áreas críticas, que disponibiliza energia elétrica para tomadas de uso específicos de equipamentos essenciais ao suporte à vida, evitando interrupções na distribuição de energia elétrica, reduzindo correntes de fuga circulando pelo condutor de proteção, diminuindo a tensão de contato e a intensidade do choque elétrico acidental.

A principal forma de proteção na rede de energia elétrica do BHPF é a proteção do GAM, que é controlada usando-se o DSE8610, porém o operador consegue ligar, parar e executar a transferência de carga do GAM de forma manual. As funções de sincronismo e as funções restantes de proteção necessária para o gerador estão incluídas no controlador. O relé de proteção PR222DS/P-LSI contido no disjuntor principal do QEP atua de maneira a monitorar e proteger contra curto circuitos com disparo de tempo inverso, contra sobrecorrente e contra curto circuito com disparo instantâneo.

Por fim, podemos considerar que pôde-se compreender de forma geral o projeto elétrico de uma embarcação, desde a análise de cargas para o dimensionamento do sistema de geração elétrica até sua distribuição, juntamente com suas proteções elétricas. O projeto elétrico do BHPF teve por desafio adequar a rede de energia elétrica condicionada a ambientes navais para as condições de operações de alguns equipamentos hospitalares, que necessitam de um uso exclusivo de energia elétrica para seu funcionamento, que, por fim, teve seu objetivo concluído, levando atendimento hospitalar a populações afastadas dentro da bacia hidrográfica amazônica.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores deste trabalho agradecem a Indústria Naval do Ceará pelo apoio e disponibilização dos dados utilizados na pesquisa, ao Centro Universitário 7 de Setembro, a Universidade Federal do Ceará e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará pelo apoio prestado.

#### **REFERÊNCIAS**

ABNT, Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR 13534**: instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde-requisitos para segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ABNT, Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR 7567**: execução de balanço elétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ABNT, Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR IEC 60601**: equipamento eletromédico parte 1-11: requisitos gerais para a segurança básica e o desempenho essencial – norma colateral: requisitos para equipamentos eletromédicos e sistemas eletromédicos utilizados em ambientes domésticos de cuidado à saúde. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão elétrica de navios**. 2007, 201 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ANVISA. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 50**. Brasília: Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil, 2002.

BLACKBURN, J.L.;DOMIN, T.J. *Protective Relaying principles and applications*. 3<sup>a</sup>.ed. Boca Raton: CRC Press., 2007.

BRONDANNI, Marcia de Fatima. **Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de lítio íon polímero utilizando algoritmos genéticos**. 2015, 114 p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

CASTELLARI, Sérgio. Capítulo III – Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde, v. 86, mar. 2013.

CAUCHICK, M. P.A.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; LIMA, E. P.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; SOUSA, R.; COSTA, S. E. G, PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**, 3<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

FRATERNIDADE S. F. A. P. D. **Nossas Obras – Barco Hospital**. 2018. Disponível em:[http://www.franciscanosnaprovidencia.org.br/associacao/nossasobras\\_detalhes/66/Barco-Hospital](http://www.franciscanosnaprovidencia.org.br/associacao/nossasobras_detalhes/66/Barco-Hospital). Acesso em : 15 mar 2019.

IEC, International Electrotechnical Commision. **IEC 60092-352**: electrical installation in ships – part 352: choice and installation of electrical cables. Geneva: IEC, 2005.

IEEE, Institute of Electrical and Eletronics Engineers. **IEEE Std 485**: recommended practice for sizing lead-acid batteries for staionary applications. Nova Iorque: IEEE, 1997.

IEEE, Institute of Electrical and Eletronics Engineers. **IEEE Std C37.102**: guide for ac generator protection. Nova Iorque: IEEE, 2006.

IEEE, Institute of Electrical and Eletronics Engineers. **IEEE Std 45**: recommended practice for electrical installations on shipboard. Nova Iorque: IEEE, 2002.

IEEE, Institute of Electrical and Eletronics Engineers. **IEEE Std 242**: IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems. Nova Iorque: IEEE, 2001.

ISO, International Organization for Standardization. **ISO 8468**: Ship’s Bridge Layout and Associated Equipment – Requirements and Guidelines. ISO, 15 de Julho de 2007.

KANTHARIA, Raunek. *A guide to ship’s electro-technology*. 1<sup>a</sup> ed: Marine Insight, 2013.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8<sup>a</sup>.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

PRODANOV, C. C; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2ª ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SAIDEL, Marcos Antônio. Metodologia para aplicação de fontes renováveis de energia elétrica em plataformas marítimas de produção de petróleo e gás natural. 2013, 181 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SANES, Sergi Espinosa. **Design of a shore power system for barcelona's cruise piers.** 2015, 161 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Naval) – Facultat de Nàutica de Barcelona, Catalunya, 2015.

SEVERINO, A. J. **metodologia do trabalho científico.** 5ª ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SERAPIÃO, Rogério Cesar Silva. Proteção diferencial de geradores síncronos: o uso de redes neurais artificiais para identificação e correção da saturação dos transformadores de corrente. 2012, 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.