

**TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E GRUPOS
DIESEL GERADORES DE EMERGÊNCIA**

Dimensionamento

ÍNDICE	PÁG.
1 OBJETIVO.....	6
2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	6
2.1 Informativos Técnicos.....	6
2.2 Planilhas	6
3 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	6
4 CARGAS ELÉTRICAS	7
4.1 Definição das Cargas da Instalação.....	8
4.2 Potências Estimadas	9
4.2.1 Bombas.....	9
4.2.2 Compressores.....	9
4.2.3 Equipamentos de Levantamento e Movimentação de Cargas.....	10
5 CARGAS DA USINA	10
5.1 Unidades Geradoras.....	10
5.1.1 Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina	10
5.1.2 Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador.....	10
5.1.3 Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina	10
5.1.4 Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	11
5.1.5 Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina.....	11
5.1.6 Resistores de Aquecimento do Gerador	11
5.1.7 Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina	11
5.1.8 Bombas ou Válvula do Sistema de Água de Resfriamento da Unidade	11
5.1.9 Cubículo de Excitação do Gerador	11
5.1.10 Auxiliares dos Transformadores Elevadores	11
5.1.11 Filtro Autolimpante do Sistema de Água de Resfriamento.....	11
5.2 Casa de Força	12
5.2.1 Bombas de Drenagem	12
5.2.2 Compressores de Ar de Regulação de Velocidade	12
5.2.3 Sistema de Ventilação e Exaustão	12
5.2.4 Sistema de Ar Condicionado	12
5.2.5 Compressores de Ar de Serviço	12
5.2.6 Sistema de Telecomunicações	12
5.2.7 Carregadores de Baterias.....	12
5.2.8 Transformadores de Iluminação e Aquecimento	13
5.2.9 Elevador de Pessoas	13
5.2.10 Auxiliares do Grupo Diesel Gerador de Emergência	13
5.2.11 Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor	13
5.2.12 Bombas de Esgotamento.....	13
5.2.13 Bombas de Combate a Incêndio.....	13
5.2.14 Ponte Rolante da Casa de Força.....	13
5.2.15 Tomadas de Força.....	13

5.2.16	Sistemas Móveis de Tratamento de Óleo Isolante e Óleo Lubrificante.....	13
5.2.17	Pórtico Rolante de Jusante.....	14
5.3	Tomada d'Água.....	14
5.3.1	Pórtico Rolante de Montante	14
5.3.2	Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	14
5.4	Vertedouro.....	14
5.4.1	Pórtico Rolante do Vertedouro.....	14
5.4.2	Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	14
5.5	Subestação de AT.....	15
6	DEFINIÇÃO DAS CARGAS	15
6.1	Unidades Geradoras.....	15
6.1.1	Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina	15
6.1.2	Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador.....	15
6.1.3	Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina	15
6.1.4	Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	15
6.1.5	Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina.....	15
6.1.6	Resistores de Aquecimento do Gerador	15
6.1.7	Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina	15
6.1.8	Válvula da Água de Resfriamento da Unidade	15
6.1.9	Cubículo de Excitação do Gerador	16
6.1.10	Auxiliares dos Transformadores Elevadores	16
6.1.11	Filtro Autolimpante do Sistema de Água de Resfriamento.....	16
6.2	Casa de Força	16
6.2.1	Bombas de Drenagem	16
6.2.2	Compressores de Ar de Regulação de Velocidade	16
6.2.3	Sistema de Ventilação e Exaustão	16
6.2.4	Sistema de Ar Condicionado	16
6.2.5	Compressores de Ar de Serviço	16
6.2.6	Sistema de Telecomunicações	16
6.2.7	Carregadores de Baterias.....	16
6.2.8	Transformadores de Iluminação e Aquecimento	16
6.2.9	Elevador de Pessoas	16
6.2.10	Auxiliares do Grupo Diesel Gerador de Emergência	16
6.2.11	Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor	16
6.2.12	Bombas de Esgotamento.....	17
6.2.13	Bombas de Combate a Incêndio.....	17
6.2.14	Ponte Rolante da Casa de Força.....	17
6.2.15	Tomadas de Força.....	17
6.2.16	Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante	17
6.2.17	Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante	17
6.2.18	Pórtico Rolante de Jusante.....	17

6.3	Tomada d'Água	17
6.3.1	Transformador de Iluminação e Aquecimento	17
6.3.2	Tomada de Força	17
6.3.3	Pórtico Rolante de Montante	18
6.3.4	Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	18
6.4	Vertedouro	18
6.4.1	Transformador de Iluminação e Aquecimento	18
6.4.2	Tomada de Força	18
6.4.3	Pórtico Rolante do Vertedouro	18
6.4.4	Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	18
6.5	Subestação de AT	18
6.5.1	Transformador de Iluminação e Aquecimento	18
6.5.2	Tomada de Força	18
6.5.3	Chaves e Disjuntores	18
7	CÁLCULO DOS CONSUMOS	18
7.1	Cargas das Unidades	19
7.2	Cargas da Casa de Força	19
7.3	Cargas da Tomada d'Água	20
7.4	Cargas do Vertedouro	21
7.5	Cargas da Subestação de AT	21
8	TRANSFORMADORES	22
8.1	Análise dos Dados	23
8.2	Operação Normal	23
8.2.1	Carga das Unidades	23
8.2.2	Cargas da Casa de Força	25
8.2.3	Cargas da Tomada d'Água	25
8.2.4	Cargas do Vertedouro	26
8.2.5	Cargas da Subestação de AT	26
8.2.6	Resumo	26
8.3	Manutenção	26
8.3.1	Carga das Unidades	27
8.3.2	Cargas da Casa de Força	28
8.3.3	Cargas da Tomada d'Água	28
8.3.4	Cargas do Vertedouro	29
8.3.5	Cargas da Subestação de AT	29
8.3.6	Resumo	29
8.4	Potência Nominal dos Transformadores	29
8.5	Tensões no Secundário do Transformador	30
9	GRUPO DIESEL GERADOR DE EMERGÊNCIA	32
9.1	Análise dos Dados	32

9.1.1	Carga das Unidades	32
9.1.2	Cargas da Casa de Força	32
9.1.3	Cargas da Tomada d'Água	33
9.1.4	Cargas do Vertedouro.....	33
9.1.5	Cargas da Subestação de AT	34
9.1.6	Resumo	34
9.2	Potência Nominal-do Grupo Diesel Gerador de Emergência	34
9.3	Alternador.....	35
9.3.1	Tensão de Operação do Alternador.....	35
9.3.2	Variações de Tensão	35
9.3.3	Reatância Transitória X'd.....	36
9.3.4	Escolha do Alternador.....	38
9.3.5	Cálculo das Tensões Mínimas	39
9.3.6	Definição do Alternador	42
9.4	Motor Diesel	42
9.4.1	Cálculo da Potência Ativa Solicitada.....	42
9.5	Conclusão	42
9.5.1	Potência Nominal do Grupo.....	43
9.5.2	Alternador	43
9.5.3	Motor Diesel.....	43
9.6	Utilização do Conjunto	43

1 OBJETIVO

O objetivo deste informativo é o de definir critérios para o dimensionamento de transformadores de potência e grupos geradores de emergência, de instalações de usinas hidrelétricas, para atender os sistemas auxiliares elétricos.

Este texto está escrito, especificamente, para aplicação em serviços auxiliares de usinas hidrelétricas, com unidades geradoras verticais acionadas por turbinas Francis, mas pode ser aplicado a outros tipos de instalações elétricas de usinas, ou outro tipo de instalações, desde que se façam as adequações ao tipo de aplicação considerado.

2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

2.1 Informativos Técnicos

IT.EL.SA.CA.01.R1 Tensões Nominais e Variações de Tensão

2.2 Planilhas

PL.EL.SA.AC.01.R1 TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA - Cálculo da Tensão nos Terminais

PL.EL.SA.CA.02.R1 GRUPOS DIESEL GERADORES - Cálculo da Reatância Transitória

PL.EL.SA.CA.03.R1 GRUPOS DIESEL GERADORES - Cálculo da Tensão nos Terminais

3 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

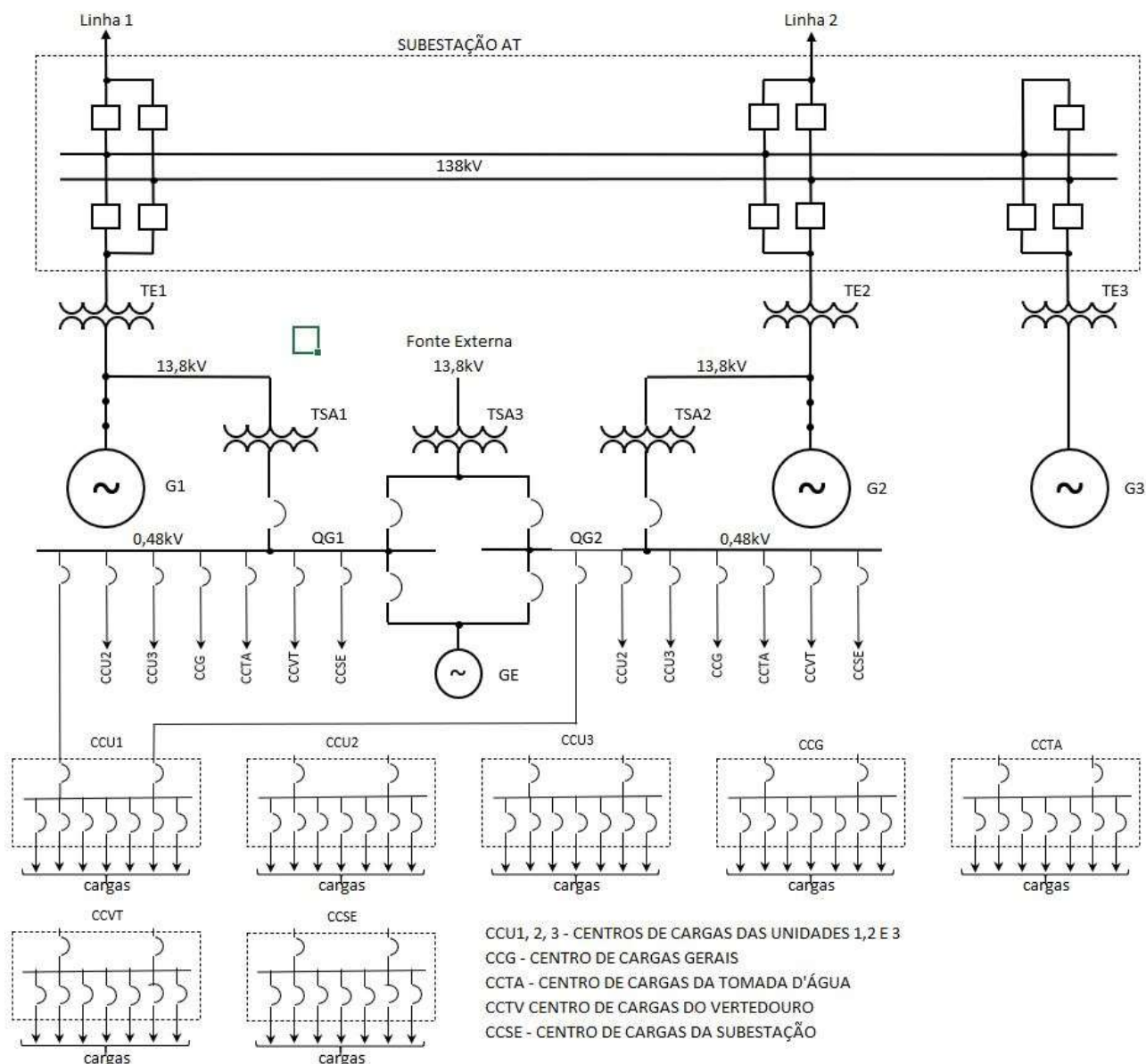
A definição das potências elétricas nominais e características dos equipamentos (transformadores, grupos geradores, centros de cargas, quadros de distribuição etc.) depende do conhecimento que se tem das cargas da instalação e suas condições de operação. Portanto, o profissional que pretende definir essas potências deve ter esse conhecimento e, se necessário, ter o apoio de profissionais de outras áreas para realizar essa tarefa.

A configuração do sistema elétrico de uma usina hidrelétrica, assim como das instalações industriais, normalmente é uma definição que depende de uma série de fatores como, por exemplo, padrões do cliente, finalidade e porte da instalação, sistema elétrico interligado etc. Para a finalidade deste informativo, será considerada a configuração do diagrama abaixo, pois permite que se entenda a necessidade de se ter o conhecimento suficiente para aplicá-lo em outras configurações, inclusive em instalações industriais, com as respectivas adequações.

Existem usinas hidrelétricas com unidades acionadas, principalmente, por turbinas Francis, Pelton e Kaplan. Entretanto, como citado no início, este trabalho se limitará às unidades verticais acionadas por turbinas Francis.

Para dimensionar os transformadores de serviços auxiliares e o grupo diesel gerador de emergência, é necessário conhecer as cargas, finalidades, condições de operação e potências.

A configuração do diagrama a seguir, que servirá para o desenvolvimento do raciocínio deste informativo, consiste em três unidades geradoras (G1, G2 e G3), que fornecem energia ao sistema de alta tensão, através dos transformadores elevadores (TE1, TE2 e TE3) e da Subestação de AT em 138kV (no caso, de barra dupla).



Os serviços elétricos auxiliares são alimentados por duas unidades (G1 e G2), através dos transformadores de serviços auxiliares (TSA1 e TSA2), em condições de emergência pelo grupo diesel gerador de emergência (GE) e, ocasionalmente, pela fonte externa, através do transformador (TSA3). A fonte externa poderia ter sido omitida, pois o sistema de serviços auxiliares também poderia ser alimentado, durante longos períodos de falta de energia, pelas unidades geradoras (G1 e G2) ou pelo sistema de alta tensão, através dos transformadores elevadores (TE1/TSA1 ou TE2/TSA2), desde que se instalem meios para isolar as unidades geradoras (G1 e G2).

As cargas da usina são alimentadas pelos quadros gerais (QG1 e QG2), através dos centros de carga distribuídos pela usina (CCU1, CCU2, CCU3, CCG, CCTA, CCVT e CCSE).

4 CARGAS ELÉTRICAS

As cargas elétricas de uma instalação têm a finalidade de atender equipamentos e instalações que, em função da sua importância, possuem equipamentos redundantes para evitar a parada da(s) unidade(s) devido a falhas ou manutenção. As cargas da usina podem ser classificadas como sendo contínuas, intermitentes e esporádicas.

Contínuas: são as cargas que operam ininterruptamente para atender às necessidades da instalação. Por exemplo, bombas de circulação de óleo dos mancais dos geradores,

bombas de circulação de óleo dos mancais das turbinas, sistemas de ventilação e exaustão da Casa de Força, sistemas de água de resfriamento das unidades etc.

Intermitentes: são as cargas que operam por períodos limitados, em função das necessidades da instalação. Por exemplo, compressores de ar de serviço, bombas de drenagem etc.

Esporádicas: são as cargas que operam em determinadas situações específicas da instalação. Por exemplo, bombas de incêndio, ponte rolante, bombas de esgotamento, sistema de tratamento de óleo etc.

A classificação das cargas pode ser feita com facilidade quando se conhecem as instalações, equipamentos e suas condições de funcionamento.

Nas usinas hidrelétricas as condições de operação a serem consideradas são:

Normal: esta condição considera todas as unidades geradoras em operação. Nesta condição devem ser consideradas, além das cargas permanentes, as cargas que podem ser utilizadas com todas as unidades em operação como, por exemplo:

- O Sistema de Tratamento de Óleo Isolante dos Transformadores Elevadores, que em função dos critérios de operação e manutenção pode, eventualmente, ser utilizado no transformador elevador reserva, quando existir e, inclusive, em transformadores que estejam em operação.
- Equipamentos de Levantamento e Movimentação de Cargas, tais como ponte rolante, pórticos rolantes, talhas elétricas etc., que também podem ser utilizados durante a operação de todas as unidades pois, mesmo sem utilizar as capacidades máximas de levantamento e translação, são utilizadas para serviços de rotina.

Manutenção: esta condição considera, normalmente, uma unidade em manutenção e as demais em operação. Nesta condição, além das cargas das unidades que permanecem em operação, devem ser consideradas as cargas que operam especificamente nesta situação como, por exemplo:

- Bombas de esgotamento do tubo de sucção.
- O Sistema de tratamento de óleo lubrificante.
- Resistores de aquecimento do poço do gerador.
- Pontes e pórticos rolantes.

Emergência: esta condição ocorre com a falta de energia das fontes dos TSA1, TSA2 e TSA3, associadas à parada das unidades geradoras. Nesta fase o grupo diesel de emergência entra em operação mantendo os sistemas importantes em funcionamento. A operação degradada da instalação é seguida pela partida de uma das unidades geradoras, para restabelecimento da condição normal do sistema. O reestabelecimento é realizado pelo grupo diesel gerador de emergência, que será responsável pela alimentação das cargas dos sistemas auxiliares elétricos.

4.1 Definição das Cargas da Instalação

Para dimensionar os componentes do sistema é necessário relacionar as cargas elétricas, definir suas potências e condições de operação. Os dados das cargas devem ser definidos pelos especialistas de cada equipamento ou instalação, com base nas informações do projeto e/ou dos fabricantes dos equipamentos.

Para o caso das usinas hidrelétricas, que são consideradas neste documento, as cargas e suas potências também dependem do porte da instalação.

4.2 Potências Estimadas

As potências das cargas são definidas pelos responsáveis de cada equipamento ou instalação. Entretanto, quando essas informações ainda não estão definidas pelos fabricantes, é necessário estimá-las, com base nos dados do projeto.

A seguir são fornecidos, a título de ilustração, alguns critérios práticos para estimar as potências de alguns equipamentos mais comuns:

4.2.1 Bombas

A potência do motor de uma bomba pode ser estimada considerando que o dimensionamento da bomba é feito através da seguinte fórmula:

$$P_{(kW)} = \frac{Q \cdot h \cdot \rho}{3,67 \times \eta}$$

Onde:

$P_{(kW)}$ - Potência absorvida pela bomba (kW)

Q - Vazão da bomba (m^3/h)

h - Altura manométrica (mca)

ρ - Densidade do líquido (para água igual a 1,0)

η - Rendimento da bomba (%)

Como, normalmente, somente se conhece a vazão e a altura manométrica, adotar $\eta=80\%$. De acordo com as recomendações do API 610, o motor deve ser escolhido conforme a tabela abaixo:

Table 12 — Power ratings for motor drives

Motor nameplate rating		Percentage of rated pump power
kW	hp	%
< 22	< 30	125
22 to 55	30 to 75	115
> 55	> 75	110

Ou seja,

Para uma bomba com vazão de $75m^3/h$ de água e altura manométrica de 60m, a potência absorvida pela bomba será:

$$P_{(kW)} = \frac{75 \times 60 \times 1,0}{3,67 \times 80} = 15,33kW$$

Portanto, considerando o percentual do API 610, a potência nominal do motor deve ser 125% da potência absorvida pela bomba, ou seja:

$$P_{motor(kW)} = 15,33 \times 1,25 = 19,16kW$$

O motor que será considerado será o motor com potência padronizada imediatamente superior, ou seja, de 22kW (30 cv).

4.2.2 Compressores

Os compressores de ar de serviço são, normalmente, equipamentos padronizados pelos fabricantes e a melhor solução é utilizar os dados dos catálogos disponíveis, com base nas informações das necessidades da instalação.

Compressores específicos, como compressores dos reguladores de velocidade da turbina, são definidos pelo fabricante da turbina e, quando sua potência não estiver disponível, deve ser estimada pelo especialista do equipamento ou instalação.

4.2.3 Equipamentos de Levantamento e Movimentação de Cargas

Os equipamentos de levantamento e movimentação de cargas somente podem ser operados com um movimento de cada vez, ou seja, translação, direção ou levantamento. Entretanto, como a maior carga é do levantamento, podemos considerar que a fórmula a ser utilizada é:

$$Potência(cv) = \frac{C \times v \times 100}{75\eta} f_s$$

Onde:

- C Carga a ser levantada (kg)
 v Velocidade do levantamento (m/s)
 η Rendimento do equipamento (%)
 f_s Fator de segurança

Na falta de dados considerar o rendimento do equipamento 80% e adotar um fator de segurança de 1,2.

Uma ponte rolante para levantar uma carga de 90t a uma velocidade máxima de 3m/min (0,05m/s) deve ter uma potência aproximada de:

$$Potência(cv) = \frac{C \times v \times 100}{75\eta} f_s = \frac{90000 \times 0,05 \times 100}{75.80} 1,2 = 90 \text{ cv}$$

O motor que será considerado será o motor com potência padronizada imediatamente superior, ou seja, de 100 cv.

5 CARGAS DA USINA

A seguir são relacionadas as cargas normalmente encontradas nas usinas hidrelétricas, com vistas ao dimensionamento dos transformadores de serviços auxiliares e grupo diesel gerador de emergência.

Em função da quantidade e potência das unidades geradoras, poderá ocorrer aumento, redução ou variações das potências e quantidade de cargas, que devem ser objeto de adequação, mas não alteram o objetivo deste documento. A definição das cargas, tipo e as condições de operação, são descritos de forma a caracterizar a necessidade e importância do conhecimento, que o responsável pelo dimensionamento das instalações deve ter, para dimensionar corretamente os transformadores de serviços auxiliares e grupo diesel gerador de emergência.

5.1 Unidades Geradoras

Cada unidade geradora possui, normalmente, as seguintes cargas:

5.1.1 Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina

Estas bombas fazem parte do sistema de acionamento do regulador de velocidade da turbina. Normalmente existem pelo menos duas bombas, uma principal, que opera continuamente, e outra reserva.

5.1.2 Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador

Estas bombas têm a função de manter lubrificado o mancal combinado, de escora e guia, do gerador. Estas bombas operam durante toda o processo de partida da unidade geradora até a parada total. Existem duas bombas, uma principal e uma reserva.

5.1.3 Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina

Estas bombas têm a função de manter lubrificado o mancal guia da turbina. Estas bombas operam desde o início da partida da unidade geradora até a parada total. Existem duas bombas, uma principal e uma reserva.

5.1.4 Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora

Esta bomba tem a função de criar um filme de óleo, no mancal de escora, para permitir a partida da unidade. Esta bomba funciona somente no início da partida e final da parada da unidade, mas, excepcionalmente, por exemplo, no caso de falta de energia elétrica, a parada da unidade deve poder ser feita sem a bomba de injeção de óleo.

Algumas unidades mais antigas não têm o sistema de injeção de óleo. Entretanto, quando paradas por um determinado tempo, a criação do filme de óleo no mancal de escora, para partir a unidade, é feita levantando o rotor com a utilização do sistema de frenagem, através da bomba de levantamento do rotor.

5.1.5 Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina

Estas bombas têm a função de drenar a água que vaza pelo selo do eixo da turbina. Estas bombas operam, de modo intermitente. Normalmente existem duas bombas, uma principal e uma reserva.

5.1.6 Resistores de Aquecimento do Gerador

Os resistores de aquecimento do poço do gerador têm a finalidade de evitar a umidade nos enrolamentos do gerador. Estes resistores operam apenas quando a unidade está parada ou em manutenção.

5.1.7 Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina

Este exaustor têm a finalidade de retirar, do ambiente do poço da turbina, o vapor óleo liberado pelos mancais da unidade geradora. Estes exaustores operam continuamente.

5.1.8 Bombas ou Válvula do Sistema de Água de Resfriamento da Unidade

Dependendo da pressão do conduto forçado às vezes é mais conveniente realizar o resfriamento nos trocadores de calor ar-água do estator do gerador e nos trocadores de calor óleo-água dos sistemas de lubrificação dos mancais das unidades, utilizando água de jusante da usina. Este resfriamento é feito por bombas que operam durante todo o período de funcionamento das unidades geradoras. Dependendo da definição, um sistema de bombas pode atender mais de uma unidade geradora.

Quando a água de resfriamento é obtida diretamente do conduto forçado das unidades, a circulação da água é feita pela abertura de uma válvula, normalmente motorizada. A abertura da válvula é feita para estabelecer o sistema de resfriamento e permitir a partida da unidade geradora. Seu fechamento é feito após a parada total da unidade geradora.

5.1.9 Cubículo de Excitação do Gerador

A carga do cubículo de excitação o gerador, que faz parte da carga a ser considerada no dimensionamento dos transformadores de serviços auxiliares e grupo diesel gerador de emergência, consiste na alimentação do transformador da excitação inicial do gerador (Field Flash). Esta carga somente opera no final da partida da unidade e dura apenas alguns segundos.

5.1.10 Auxiliares dos Transformadores Elevadores

As cargas auxiliares dos transformadores elevadores, que podem fazer parte dos sistemas resfriamento forçado são, em função do porte dos transformadores: ventilação forçada, circulação forçada de óleo isolante, circulação forçada de água ou outras cargas similares que forem necessárias. Estas cargas funcionam durante todo o período de operação das unidades geradoras e, após a parada, até que a temperatura dos sistemas atendidos permita seu desligamento.

5.1.11 Filtro Autolimpante do Sistema de Água de Resfriamento

O motor do filtro autolimpante opera de modo intermitente, sempre que o pressostato diferencial detecta que o filtro está sujo.

5.2 Casa de Força

As cargas da Casa de Força, comuns a todas as unidades são:

5.2.1 Bombas de Drenagem

O sistema de drenagem é atendido por duas ou mais bombas destinadas a bombear, as águas de percolação e águas de serviço utilizadas na Casa de Força, para o canal de fuga. Neste sistema são utilizadas duas bombas, uma principal e outra reserva. A bomba principal opera de modo intermitente e a bomba reserva, normalmente, somente em casos excepcionais como, por exemplo, em caso de incêndio.

5.2.2 Compressores de Ar de Regulação de Velocidade

O sistema de ar comprimido dos reguladores de velocidade, normalmente, é composto de um conjunto de dois compressores e um reservatório de ar de alta pressão, que abastecem os sistemas de regulação de velocidade das três turbinas. Os compressores operam de modo intermitente, sendo um principal e outro reserva.

5.2.3 Sistema de Ventilação e Exaustão

O sistema de ventilação e exaustão tem a função de manter a temperatura nos ambientes da Casa de Força, dentro de valores definidos no projeto, garantindo o conforto térmico, saúde e segurança das pessoas. A quantidade de ventiladores e exaustores do sistema depende do porte e arranjo físico da Casa de Força. O funcionamento dos ventiladores e exaustores do sistema é contínuo e poucos equipamentos têm reservas como, por exemplo, os sistemas de ventilação e exaustão de salas de baterias. Em salas de baterias, com baterias do tipo ventiladas, a ventilação e exaustão têm a finalidade de diluir a concentração do hidrogênio produzido pelas baterias para evitar o risco de explosão.

5.2.4 Sistema de Ar Condicionado

O sistema de ar condicionado tem a função dar conforto térmico às pessoas que trabalham em ambientes confinados e manter a temperatura em ambientes que possuam equipamentos que exijam climatização. Nas Usinas hidrelétricas estes ambientes são as salas de controle, salas de baterias seladas e escritórios. A quantidade de equipamentos depende da quantidade e porte dos ambientes que necessitam climatização. O funcionamento dos sistemas é contínuo e possuem equipamentos principais e reservas.

5.2.5 Compressores de Ar de Serviço

O sistema de ar de serviço da usina é composto de dois compressores, que acumulam o ar em um reservatório que abastece de ar toda a instalação, inclusive os reservatórios individuais do sistema de frenagem das unidades geradoras. Os compressores operam de modo intermitente, sendo um compressor principal e outro reserva.

5.2.6 Sistema de Telecomunicações

A carga do sistema de telecomunicações consiste em carregadores de baterias do sistema de telecomunicações. Esta carga é uma carga constante e possui redundância, da mesma forma que o sistema de corrente contínua da Casa de Força.

5.2.7 Carregadores de Baterias

Os carregadores de baterias têm a função de carregar e manter carregadas as baterias dos sistemas de corrente contínua da Usina. Em função da importância dos sistemas, existem pelo menos dois conjuntos de carregadores e baterias. Os dois carregadores operam continuamente em regime de flutuação, ou seja, mantêm as baterias carregadas e alimentam o consumo de corrente contínua da usina. Quando ocorre a descarga das baterias, os carregadores passam a realizar a carga das baterias e são dimensionados para, simultaneamente, alimentar as cargas de corrente contínua da usina.

5.2.8 Transformadores de Iluminação e Aquecimento

Os transformadores de iluminação e aquecimento têm a função de atender as cargas das instalações de iluminação e aquecimento da usina. A quantidade e potência destes transformadores depende do porte e configuração da instalação. Estes transformadores operam continuamente com carga que pode ser reduzida em períodos noturnos.

5.2.9 Elevador de Pessoas

Em função do arranjo da Casa de Força, pode ser necessária a instalação de elevador para transporte de pessoas.

5.2.10 Auxiliares do Grupo Diesel Gerador de Emergência

A carga dos auxiliares do grupo diesel de emergência consiste no conjunto de acessórios necessário a manter o grupo diesel pronto para partir. Estas cargas são, transformador de controle, preaquecedor do motor e bomba de transferência de combustível.

5.2.11 Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor

O sistema de frenagem e levantamento do rotor consiste em um sistema de ar e óleo. O ar é obtido do sistema de ar de serviço da Casa de Força, que é armazenado em tanque da unidade, específico para o sistema de frenagem. O óleo para levantamento do rotor é bombeado pela bomba do sistema de frenagem. A carga do sistema de frenagem e levantamento, para efeito de cargas elétricas, consiste apenas na bomba de óleo. Normalmente, existe um único sistema de levantamento do rotor que atende todas as unidades. Este sistema é utilizado, quando necessário, durante os serviços de manutenção das unidades.

5.2.12 Bombas de Esgotamento

O sistema de esgotamento é constituído por bombas destinadas a esgotar a água do conduto forçado, caixa espiral da turbina e tubo de sucção da unidade geradora. Este sistema somente opera quando é necessário realizar serviços de manutenção na turbina e é, normalmente, constituído por duas bombas, que podem funcionar simultaneamente, para reduzir o tempo de esgotamento.

5.2.13 Bombas de Combate a Incêndio

O sistema de combate a incêndio é formado por duas bombas destinadas a combater o incêndio nas instalações. Este sistema, normalmente, é provido de duas bombas, uma principal e outra reserva. Em algumas instalações a bomba reserva é acionada por motor diesel.

5.2.14 Ponte Rolante da Casa de Força

A ponte rolante da Casa de Força tem a finalidade de movimentar todos os equipamentos e cargas, sendo dimensionada para movimentar a carga mais pesada da usina, que é o rotor do gerador. Apesar de ser dimensionado para levantar o rotor do gerador com a velocidade máxima, é muito mais utilizado para movimentar cargas menores. As cargas de uma ponte rolante principal são levantamento, direção e translação.

5.2.15 Tomadas de Força

As tomadas de força são distribuídas por toda a instalação, com a finalidade de atender cargas necessárias à realização de serviços com equipamentos mais pesados como, por exemplo, máquinas de solda, compressores, sistemas móveis de tratamento de óleo etc.

5.2.16 Sistemas Móveis de Tratamento de Óleo Isolante e Óleo Lubrificante

Os sistemas de tratamento de óleo isolante e óleo lubrificante são, normalmente, unidades portáteis que são ligados às tomadas de força próximas aos equipamentos que serão atendidos.

5.2.17 Pórtico Rolante de Jusante

As cargas do pórtico rolante de jusante são as necessárias para realizar os serviços de manutenção, colocação e retirada dos stop logs dos tubos de sucção das unidades, que permitem o esvaziamento do conduto forçado, caixa espiral e tubo de sucção da unidade em que se deseja realizar a manutenção. Estas cargas são o guincho de levantamento, direção e translação do pórtico.

5.3 Tomada d'Água

As cargas da tomada d'água consistem, além de algumas tomadas de força e quadros de iluminação, pelas seguintes cargas relevantes:

5.3.1 Pórtico Rolante de Montante

As cargas do pórtico rolante de montante são as necessárias para os serviços de manutenção dos stop logs e das comportas da tomada d'água das unidades. Estas cargas são de levantamento, direção e translação do pórtico e, em alguns casos, da máquina limpa grades.

5.3.2 Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água

A comportas da tomada d'água mantêm o fluxo de água das unidades geradoras. Estas comportas abrem para permitir a partida da unidade e se mantêm abertas, mesmo com as unidades paradas. Cada unidade geradora tem sua comporta ou conjunto de comportas, que são fechadas em caso emergência ou para manutenção.

As comportas são acionadas por um sistema hidráulico, que pode atender várias unidades. O sistema possui uma central hidráulica, equipada com duas bombas de óleo, uma principal e uma reserva. Uma das bombas funciona quando é necessário abrir uma comporta ou quando é necessário realizar a reposição da posição da comporta. A reposição da comporta é uma operação esporádica, que ocorre devido a pequenos vazamentos no sistema hidráulico, o que provoca a atuação do sensor de posição da comporta.

5.4 Vertedouro

As cargas do vertedouro consistem, além de algumas tomadas de força e quadros de iluminação, pelas seguintes cargas relevantes:

5.4.1 Pórtico Rolante do Vertedouro

As cargas do pórtico rolante do vertedouro são as necessárias para os serviços de manutenção dos stop logs e das comportas do vertedouro. Estas cargas são o guincho de levantamento, direção e translação.

5.4.2 Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro

As comportas do vertedouro servem para escoar o excesso da água acumulada no reservatório ou para manter a vazão mínima do rio quando ocorre um problema na usina. Por sua finalidade, estas comportas raramente são operadas e, quando são, operam uma de cada vez para manter uma pequena abertura para passagem da água.

As comportas são acionadas por um sistema hidráulico, que pode atender mais de uma unidade. O sistema possui uma central hidráulica, equipada com duas bombas de óleo, uma principal e uma reserva. Uma das bombas funciona quando é necessário abrir uma comporta ou quando é necessário realizar a reposição da posição da comporta. A reposição da posição da comporta é uma operação esporádica, que ocorre devido a pequenos vazamentos no sistema hidráulico, o que provoca a atuação do sensor de posição da comporta.

5.5 Subestação de AT

A carga de uma subestação consiste, basicamente, em tomadas de força, iluminação e no acionamento de chaves seccionadoras e compressores dos disjuntores do sistema de alta tensão.

Em usina de grande porte as instalações elétricas de baixa tensão são alimentadas por transformadores dedicados, que podem ser dimensionados com base nos mesmos conceitos aqui utilizados.

6 DEFINIÇÃO DAS CARGAS

Para a definição das potências necessárias dos transformadores de serviços auxiliares e grupo diesel gerador de emergência é necessário, com base no conhecimento do funcionamento, utilização e condições de operação das cargas, definir o consumo das instalações em cada situação de funcionamento da usina.

Para consolidar os conceitos deste documento serão consideradas as cargas de uma usina, composta de 3 unidades geradoras e uma subestação associada de pequeno porte, conforme representado no diagrama unifilar representado no início deste documento. Todas as cargas utilizadas nesta simulação são estimadas e têm a finalidade de ilustrar a definição dos consumos.

Para as cargas de elevação e movimentação de cargas, será considerado que somente é efetuado um movimento de cada vez. Portanto, serão consideradas apenas as maiores cargas, que são as dos guinchos principais.

6.1 Unidades Geradoras

A seguir são relacionadas as cargas específicas das unidades geradoras da usina e aplicadas as considerações sobre seu funcionamento e operação. Na relação abaixo estão indicadas as cargas que serão consideradas, para cada unidade.

6.1.1 Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 100 cv, sendo uma principal e outra reserva.

6.1.2 Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 10 cv, sendo uma principal e outra reserva.

6.1.3 Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 7,5 cv, sendo uma principal e outra reserva.

6.1.4 Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 15 cv, sendo uma principal e outra reserva.

6.1.5 Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 3 cv, sendo uma principal e outra reserva.

6.1.6 Resistores de Aquecimento do Gerador

Serão considerados resistores de aquecimento do gerador com potência total de 15 kW.

6.1.7 Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina

Será considerado um exaustor acionado por motor de 0,5 cv.

6.1.8 Válvula da Água de Resfriamento da Unidade

Será considerada uma válvula motorizada acionada por motor de 1,5 cv.

6.1.9 Cubículo de Excitação do Gerador

Será considerado um transformador de excitação inicial (Field Flash) de 10 kVA.

6.1.10 Auxiliares dos Transformadores Elevadores

Será considerado um conjunto de ventiladores, acionados por motores, totalizando uma potência de 30 kVA.

6.1.11 Filtro Autolimpante do Sistema de Água de Resfriamento

O motor do filtro autolimpante será considerado com potência de 1,5 cv.

6.2 Casa de Força

A seguir são relacionadas as cargas comuns da casa de força e aplicadas as considerações sobre seu funcionamento e operação. Na relação abaixo estão indicadas as cargas que serão consideradas.

6.2.1 Bombas de Drenagem

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 20 cv, sendo uma principal e outra reserva.

6.2.2 Compressores de Ar de Regulação de Velocidade

Serão considerados dois compressores acionados por motores 30 cv, sendo um principal e outro reserva.

6.2.3 Sistema de Ventilação e Exaustão

Será considerado um conjunto de ventiladores de insuflamento e exaustores, acionados por motores, totalizando uma potência de 75 cv.

6.2.4 Sistema de Ar Condicionado

Será considerado um conjunto de equipamentos de condicionamento, totalizando uma potência contínua de 30 cv.

6.2.5 Compressores de Ar de Serviço

Serão considerados dois compressores acionados por motores 15 cv, sendo um principal e outro reserva.

6.2.6 Sistema de Telecomunicações

Será considerado um sistema de telecomunicações com consumo total contínuo de 10 kVA.

6.2.7 Carregadores de Baterias

Serão considerados dois carregadores de baterias, cada com potência nominal de 15 kVA, com consumo permanente de 5 kVA total, em regime de flutuação.

6.2.8 Transformadores de Iluminação e Aquecimento

Será considerado um total de 6 transformadores de iluminação e aquecimento, cada um com potência nominal de 10 kVA, para atender as cargas da casa de força. O consumo total do conjunto de transformadores será de 30 kVA.

6.2.9 Elevador de Pessoas

Será considerado um elevador com consumo esporádico de 7,5 kVA.

6.2.10 Auxiliares do Grupo Diesel Gerador de Emergência

Será considerado um consumo total contínuo de 1,5 kVA.

6.2.11 Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor

Será considerada uma bomba acionada por motor de 3 cv para levantamento do rotor de uma unidade.

6.2.12 Bombas de Esgotamento

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 30 cv, podendo as duas bombas operar simultaneamente.

6.2.13 Bombas de Combate a Incêndio

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 40 cv, sendo uma principal e outra reserva.

6.2.14 Ponte Rolante da Casa de Força

Será considerada apenas a potência do guincho principal com potência de 75 cv, que opera com carga máxima apenas durante o período de manutenção, para o levantamento do rotor do gerador da unidade e, em outros momentos, com potência arbitrada de 20 kVA para movimentar cargas menores.

Apesar do guincho principal da ponte rolante atender a maior carga da usina, e ser dimensionada para levantar o rotor do gerador com velocidade máxima, essa operação ocorre raramente e quando é necessário montar e desmontar a unidade. Entretanto, quando ela ocorre, por ser uma operação delicada e envolver uma peça vital, dificilmente o levantamento do rotor é feito com velocidade máxima, ao contrário, essa operação é feita com todo o cuidado, em intervalos curtos de operação (alguns minutos) e baixas velocidades.

6.2.15 Tomadas de Força

Será considerado um conjunto de 10 tomadas de força distribuídas pela casa de força, com potência individual de 30 kVA e consumo esporádico total de 30 kVA, durante a operação normal da usina e, 60 kVA, também esporádico, durante os serviços de manutenção de uma unidade.

6.2.16 Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante

O sistema móvel de tratamento de óleo isolante será considerado como uma carga esporádica de 60 kVA, durante os serviços de manutenção de uma unidade geradora ou manutenção de um transformador reserva, que consideraremos existir.

6.2.17 Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante

O sistema móvel de tratamento de óleo lubrificante será considerado como uma carga esporádica de 30 kVA, durante os serviços de manutenção de uma unidade geradora.

6.2.18 Pórtico Rolante de Jusante

Será considerado apenas o guincho principal do pórtico rolante, com potência esporádica de 15 cv, que pode operar em caso de manutenção.

6.3 Tomada d'Água

A seguir são relacionadas as cargas específicas da tomada d'água com as considerações sobre seu funcionamento e operação. Na relação abaixo estão indicadas as cargas que serão consideradas.

6.3.1 Transformador de Iluminação e Aquecimento

Será considerado um único transformador de iluminação e aquecimento, com potência nominal de 10 kVA. O consumo contínuo considerado será de 5kVA.

6.3.2 Tomada de Força

Serão consideradas 2 tomadas de força, com potência individual de 30 kVA e consumo esporádico 15 kVA, durante os serviços de manutenção.

6.3.3 Pórtico Rolante de Montante

Será considerado apenas o guincho principal do pórtico rolante, com potência esporádica de 20 cv, que pode operar em caso de manutenção.

6.3.4 Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 15 cv, com operação esporádica, sendo uma principal e outra reserva.

6.4 Vertedouro

A seguir são relacionadas as cargas específicas do vertedouro, com as considerações sobre seu funcionamento e operação. Na relação abaixo estão indicadas as cargas que serão consideradas.

6.4.1 Transformador de Iluminação e Aquecimento

Será considerado um único transformador de iluminação e aquecimento, com potência nominal de 10 kVA. O consumo contínuo considerado será de 5kVA.

6.4.2 Tomada de Força

Serão consideradas 2 tomadas de força, com potência individual de 30 kVA e consumo esporádico 15 kVA, durante os serviços de manutenção.

6.4.3 Pórtico Rolante do Vertedouro

Será considerado apenas o guincho principal do pórtico rolante, com potência esporádica de 15 cv, que pode operar em caso de manutenção.

6.4.4 Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro

Serão consideradas duas bombas acionadas por motores 7,5 cv, com operação esporádica, sendo uma principal e outra reserva.

6.5 Subestação de AT

A seguir são relacionadas as cargas específicas da subestação, com as considerações sobre seu funcionamento e operação. Na relação abaixo estão indicadas as cargas que serão consideradas.

6.5.1 Transformador de Iluminação e Aquecimento

Será considerado um único transformador de iluminação e aquecimento, com potência nominal de 10 kVA. O consumo contínuo considerado será de 5kVA.

6.5.2 Tomada de Força

Serão consideradas 2 tomadas de força, com potência individual de 30 kVA e consumo esporádico 15 kVA, durante os serviços de manutenção.

6.5.3 Chaves e Disjuntores

Como as cargas de uma subestação se referem ao acionamento de disjuntores e seccionadoras, será considerada uma carga instalada de 30 kVA com um consumo esporádico de 5 kVA, pois as chaves e disjuntores são acionados um de cada vez.

7 CÁLCULO DOS CONSUMOS

Para facilitar o cálculo dos consumos, as cargas serão indicadas em tabelas que contêm as suas informações e condições de operação.

Em condições normais, a partida e parada de uma unidade são operações que levam minutos, a operação das unidades muitos meses e a manutenção alguns dias ou semanas.

Nos cálculos será utilizada a seguinte aproximação:

$$1\text{cv}=1\text{hp}=1\text{kW}=1\text{kVA}$$

Legenda utilizada nas tabelas:

Carga Contínua —————

Carga Intermitente - - - - -

Carga Esporádica

7.1 Cargas das Unidades

Na tabela a seguir estão indicadas as cargas de uma unidade:

CARGAS DE UMA UNIDADE									
DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA								
	REAL	kVA							
		INSTALADA	INÍCIO DA PARTIDA	PARTINDO	FINAL DA PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DA PARADA	PARADA
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina (2)	100 cv	200	100	100	100	100	100	100	
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador (2)	10 cv	20	10	10	10	10	10	10	
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina (2)	7,5 cv	15	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora (2)	15 cv	30	15	15			15	15	
Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina (2)	3 cv	6	3	3	3	3	3	3	3
Resistores de Aquecimento do Gerador (1)	15 kW	15							15
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina (1)	0,5 cv	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade (1)	1,5 cv	1,5	1,5					1,5	
Cubículo de Excitação do Gerador (1)	10 kVA	10			10				
Auxiliares do Transformador Elevador (1)	30 kVA	30	30	30	30	30	30	30	
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento (1)	1,5 cv	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	-	-	164,5	163,0	158,0	148,0	163,0	164,5	15,5
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	-	-	3	3	3	3	3	3	3
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	-	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
TOTAL GERAL (kVA)	-	329,5	169,0	167,5	162,5	152,5	167,5	169,5	18,5

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

7.2 Cargas da Casa de Força

A seguir são relacionadas as cargas da casa de força e aplicadas as considerações sobre seu funcionamento e operação. A condição normal considera as três unidades em operação, a de manutenção apenas uma unidade em manutenção e, a condição de emergência, as três unidades paradas, sem alimentação nos três transformadores de serviços auxiliares.

CARGAS DA CASA DE FORÇA					
DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA				
	REAL	kVA			
		INSTALADA	OPERAÇÃO NORMAL	MANUTENÇÃO	EMERGENCIA
Bombas de Drenagem (2)	20 cv	40	20	20	20
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade (2)	30 cv	60	30	30	30
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	75 cv	75	75	75	10
Sistema de Ar Condicionado (2)	30 cv	60	30	30	15
Compressores de Ar de Serviço (2)	15 cv	30	15	15	15
Sistema de Telecomunicações (2)	10 kVA	20	10	10	10
Carregadores de Baterias (2)	15 kVA	30	5	5	5
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (6)	10 kVA	60	30	30	30
Elevador de Pessoas (1)	7,5 kVA	7,5	7,5	7,5	7,5
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência (1)	1,5 kVA	1,5	1,5	1,5	1,5
Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor (1)	3 cv	3		3	
Bombas de Esgotamento (2)	30 cv	60		60	
Bombas de Combate a Incêndio (2)	50 cv	100	50	50	50
Ponte Rolante da Casa de Força (1)	75 cv	75	20	20	
Tomadas de Força (10)	30 kVA	300	30	60	
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante (1)	60 kVA	60	60	60	
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante (1)	30 kVA	30		30	
Pórtico Rolante de Jusante (1)	15 kVA	15		15	
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	-	-	151,5	151,5	71,5
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	-	-	65,0	65,0	65,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	-	-	167,5	305,5	57,5
TOTAL GERAL (kVA)	-	1027,0	384,0	522,0	194,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade

7.3 Cargas da Tomada d'Água

A seguir são relacionadas as cargas da tomada d'água e aplicadas as considerações sobre seu funcionamento e operação.

CARGAS DA TOMADA D'ÁGUA					
DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA				
	REAL	kVA			
		INSTALADA	OPERAÇÃO NORMAL	MANUTENÇÃO	EMERGENCIA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	10 kVA	10	5	5	5
Tomadas de Força (2)	30 kVA	60	15	15	
Pórtico Rolante de Montante (1)	20 cv	20		20	
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água (2)	15 cv	30	15	15	15
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	-	-	5,0	5,0	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	-	-	0	0	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	-	-	30,0	50,0	15,0
TOTAL GERAL (kVA)	-	120,0	35,0	55,0	20,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

7.4 Cargas do Vertedouro

A seguir são relacionadas as cargas do vertedouro e aplicadas as considerações sobre seu funcionamento e operação.

CARGAS DO VERTEDOURO					
DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA				
	REAL	kVA			
		INSTALADA	OPERAÇÃO NORMAL	MANUTENÇÃO	EMERGENCIA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	10 kVA	10	5	5	5
Tomadas de Força (2)	30 kVA	60	15	15	
Pórtico Rolante do Vertedouro (1)	15 cv	15		15	
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro (2)	7,5 cv	15	7,5	7,5	7,5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	-	-	5,0	5,0	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	-	-	0	0	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	-	-	22,5	37,5	7,5
TOTAL GERAL (kVA)	-	100,0	27,5	42,5	12,5

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

7.5 Cargas da Subestação de AT

A seguir são relacionadas as cargas da subestação de AT e aplicadas as considerações sobre seu funcionamento e operação.

CARGAS DA SUBESTAÇÃO DE AT					
DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA				
	REAL	kVA			
		INSTALADA	OPERAÇÃO NORMAL	MANUTENÇÃO	EMERGENCIA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	10 kVA	10	5	5	5
Tomadas de Força (2)	30 kVA	60	10	10	
Motores das Chaves Seccionadoras e Compressores dos Disjuntores de AT (1 conj.)	30 cv	30	5	5	5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	-	-	5,0	5,0	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	-	-	0	0	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	-	-	15,0	15,0	5,0
TOTAL GERAL (kVA)	-	100,0	20,0	20,0	10,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

8 TRANSFORMADORES

A potência nominal mínima de um transformador deve atender o consumo contínuo e o consumo da operação simultânea de cargas intermitentes e esporádicas da instalação, nas condições de operação normal ou manutenção.

A dificuldade do dimensionamento dos transformadores consiste em definir a simultaneidade de operação das cargas intermitentes e esporádicas, bem como seu tempo de operação. Algumas destas cargas podem operar por longos períodos como, por exemplo, sistemas de tratamento de óleo; outras por períodos muito curtos, na ordem de minutos, como é o caso de pontes rolantes, pórticos rolantes, elevadores e centrais hidráulicas de comportas. Portanto, a definição das cargas que devem ser consideradas deve ser feita com base no conhecimento das instalações.

As cargas dos serviços auxiliares da usina são alimentadas pelos transformadores TSA1 e TSA2, sendo que cada transformador é dimensionado para alimentar toda a instalação em qualquer condição de operação. Desta forma, cada transformador atenderia 50% da carga da usina e, no caso de falha em um deles, o outro transformador assume toda a carga.

As potências dos transformadores são definidas no início do projeto, ou seja, ainda com dados estimados das cargas. Em função de critérios de projeto, exigências do cliente, incertezas de cargas, previsão de ampliações etc., no dimensionamento da potência nominal dos transformadores são aplicados fatores de segurança. Portanto, os transformadores operam, normalmente, com 50% da carga real, que é inferior à carga nominal calculada.

Para instalações industriais e comerciais, onde o consumo de energia ocorre em ciclos de cargas definidos, para períodos de 24 horas, o dimensionamento dos transformadores pode ser feito utilizando o critério da carga equivalente, determinado pelo valor médio quadrático da carga conforme normas NBR 5146, ANSI C57.96, etc., ou seja:

$$\text{Carga Equivalente} = \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + S_3^2 \cdot t_3 \dots + S_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}}$$

Onde $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$, são os degraus de carga e $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ os respectivos tempos de duração.

Ocorre que, nas usinas hidrelétricas, o funcionamento das cargas não é cíclico. Portanto, o critério acima não é aplicável, apesar de existirem muitas memórias de cálculo utilizando esse critério, considerando um percentual do valor das cargas intermitentes e esporádicas e arbitrando um tempo de sua operação. A seguir são citados brevemente alguns exemplos, que são utilizados nessas memórias, mas sua discussão não será aprofundada por ser considerada não aplicável:

- Considerar 50% da potência nominal da bomba de incêndio, operando 2 horas a cada 24 horas, não corresponde à realidade. Uma bomba de incêndio vai operar com 100% da potência nominal, durante todo o tempo que for necessário, e ainda vai implicar na operação simultânea das bombas de drenagem da usina, inclusive as intermitentes, que farão a drenagem da água bombeada pelas bombas de incêndio.

- Considerar 30% da potência nominal de uma ponte rolante, operando 1 hora a cada 24 horas, também não está correto. A ponte rolante é utilizada quando necessário e, normalmente, por curtos períodos e com pequenas cargas. A maior carga da usina é o rotor do gerador, que somente é içado durante a montagem ou desmontagem da(s) unidade(s) gerador(as), o que ocorre raramente e, por se tratar uma operação delicada, não é feita continuamente com a velocidade máxima da ponte.

- Considerar 50% da potência nominal de uma bomba de esgotamento, operando 1 hora a cada 24 horas, não corresponde à realidade. Em caso de necessidade, as duas bombas de esgotamento vão operar com 100% da potência nominal, durante todo o tempo previsto para realizar o esgotamento da unidade.

8.1 Análise dos Dados

Para definir a potência dos transformadores é necessário analisar e interpretar os dados das tabelas e as condições de operação.

A análise mais importante será com relação à simultaneidade de operação das cargas. Entretanto, eliminado as impossibilidades da ocorrência da simultaneidade de operação de cargas, a definição dos consumos, nas diversas condições de operação da usina, não será difícil de definir.

8.2 Operação Normal

Na condição normal de operação da usina serão consideradas as cargas das 3 unidades geradoras operando

8.2.1 Carga das Unidades

A maior carga, na condição normal de operação da usina, pode ocorrer durante a partida ou parada de uma unidade geradora e com as outras duas unidades em operação. A parada simultânea de todas as unidades ocorre em caso de falta de tensão na usina e, neste caso, as unidades devem poder parar, excepcionalmente, sem os sistemas auxiliares das unidades.

CARGAS DE UMA UNIDADE							
DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA						
	INÍCIO DA PARTIDA	PARTINDO	FINAL DA PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DA PARADA	PARADA
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina (2)	100	100	100	100	100	100	
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador (2)	10	10	10	10	10	10	
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina (2)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora (2)	15	15			15	15	
Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina (2)	3	3	3	3	3	3	3
Resistores de Aquecimento do Gerador (1)							15
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina (1)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade (1)	1,5					1,5	
Cubículo de Excitação do Gerador (1)			10				
Auxiliares do Transformador Elevador (1)	30	30	30	30	30	30	
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento (1)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	164,5	163,0	158,0	148,0	163,0	164,5	15,5
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	3	3	3	3	3	3	3
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
TOTAL GERAL (kVA)	169,0	167,5	162,5	152,5	167,5	169,5	18,5

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

As cargas das três unidades estão indicadas na tabela a seguir

DESCRIÇÃO DA CARGA		POTÊNCIA kVA					
		INÍCIO DA PARTIDA	PARTINDO	FINAL DA PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DA PARADA
Unidade 1 Partindo ou Parando	TOTAL CONTÍNUA	164,5	163,0	158,0	148,0	163,0	164,5
	TOTAL INTERMITENTE	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	TOTAL ESPORÁDICO	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Unidades 2 e 3 em Operação	TOTAL CONTÍNUA	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0
	TOTAL INTERMITENTE	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	TOTAL ESPORÁDICO	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Total das 3 unidades	TOTAL CONTÍNUA	460,5	459,0	454,0	444,0	459,0	460,5
	TOTAL INTERMITENTE	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
	TOTAL ESPORÁDICO	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

8.2.2 Cargas da Casa de Força

As cargas da casa de força, nas condições normais de operação, que considera as três unidades geradoras em operação, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Bombas de Drenagem (2)	20
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade (2)	30
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	75
Sistema de Ar Condicionado (2)	30
Compressores de Ar de Serviço (2)	15
Sistema de Telecomunicações (2)	10
Carregadores de Baterias (2)	5
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (6)	30
Elevador de Pessoas (1)	7,5
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência (1)	1,5
Bombas de Combate a Incêndio (2)	50
Ponte Rolante da Casa de Força (1)	20
Tomadas de Força (10)	30
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante (1)	60
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	151,5
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	65,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	167,5
TOTAL GERAL (kVA)	384,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

8.2.3 Cargas da Tomada d'Água

As cargas da tomada d'água nas condições normais de operação, que considera as três unidades geradoras em operação, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Tomadas de Força (2)	15
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água (2)	15
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	30,0
TOTAL GERAL (kVA)	35,0

8.2.4 Cargas do Vertedouro

As cargas do vertedouro, nas condições normais de operação, que considera as três unidades geradoras em operação, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Tomadas de Força (2)	15
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro (2)	7,5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	22,5
TOTAL GERAL (kVA)	27,5

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

8.2.5 Cargas da Subestação de AT

As cargas da subestação de AT, nas condições normais de operação, que considera as três unidades geradoras em operação, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Tomadas de Força (2)	10
Motores das Chaves Seccionadoras e Compressores dos Disjuntores de AT (1 conj.)	5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	15,0
TOTAL GERAL (kVA)	20,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

8.2.6 Resumo

O resumo das cargas da usina, com a condição mais severa das três unidades em operação, está indicado na tabela a seguir:

POTÊNCIA kVA						
OPERAÇÃO	3 Unidades	Casa de Força	Tomada d'Água	Vertedouro	Subestação	Total
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	460,5	151,5	5,0	5,0	5,0	627,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	9,0	65,0	0	0	0	74,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	4,5	167,5	30,0	22,5	15,0	239,5

8.3 MANUTENÇÃO

Na condição de manutenção da usina serão consideradas as cargas de 2 unidades geradoras operando e uma parada, em manutenção.

8.3.1 Carga das Unidades

A maior carga, na condição manutenção da usina, ocorre com uma unidade geradora parada e as outras duas unidades em operação.

CARGAS DE UMA UNIDADE							
DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA KVA						
	INÍCIO DA PARTIDA	PARTINDO	FINAL DA PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DA PARADA	PARADA
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina (2)	100	100	100	100	100	100	
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador (2)	10	10	10	10	10	10	
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina (2)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora (2)	15	15			15	15	
Bobas de Drenagem da Tampa da Turbina (2)	3	3	3	3	3	3	3
Resistores de Aquecimento do Gerador (1)							15
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina (1)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade (1)	1,5					1,5	
Cubículo de Excitação do Gerador (1)			10				
Auxiliares do Transformador Elevador (1)	30	30	30	30	30	30	
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento (1)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	164,5	163,0	158,0	148,0	163,0	164,5	15,5
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	3	3	3	3	3	3	3
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
TOTAL GERAL (kVA)	169,0	167,5	162,5	152,5	167,5	169,5	18,5

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

As cargas das três unidades estão indicadas na tabela a seguir:

CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO DA UNIDADES		POTÊNCIA KVA
Unidade 1 Parada	TOTAL CONTÍNUA	15,5
	TOTAL INTERMITENTE	3,0
	TOTAL ESPORÁDICO	0
Unidades 2 e 3 em Operação	TOTAL CONTÍNUA	296,0
	TOTAL INTERMITENTE	6,0
	TOTAL ESPORÁDICO	3,0
Total das 3 unidades	TOTAL CONTÍNUA	311,5
	TOTAL INTERMITENTE	9,0
	TOTAL ESPORÁDICO	3,0

8.3.2 Cargas da Casa de Força

As cargas da casa de força, na condição de manutenção, que considera as duas unidades geradoras em operação e uma em manutenção, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Bombas de Drenagem (2)	20
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade (2)	30
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	75
Sistema de Ar Condicionado (2)	30
Compressores de Ar de Serviço (2)	15
Sistema de Telecomunicações (2)	10
Carregadores de Baterias (2)	5
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (6)	30
Elevador de Pessoas (1)	7,5
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência (1)	1,5
Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor (1)	3
Bombas de Esgotamento (2)	60
Bombas de Combate a Incêndio (2)	50
Ponte Rolante da Casa de Força (1)	20
Tomadas de Força (10)	60
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante (1)	60
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante (1)	30
Pórtico Rolante de Jusante (1)	15
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	151,5
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	65,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	305,5
TOTAL GERAL (kVA)	522,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

8.3.3 Cargas da Tomada d'Água

As cargas da tomada d'água na condição de manutenção, que considera duas unidades geradoras em operação e uma em manutenção, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Tomadas de Força (2)	15
Pórtico Rolante de Montante (1)	20
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água (2)	15
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	50,0
TOTAL GERAL (kVA)	55,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

8.3.4 Cargas do Vertedouro

As cargas do vertedouro, na condição de manutenção, que considera duas unidades geradoras em operação e uma em manutenção, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Tomadas de Força (2)	15
Pórtico Rolante do Vertedouro (1)	15
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro (2)	7,5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	37,5
TOTAL GERAL (kVA)	42,5

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

8.3.5 Cargas da Subestação de AT

As cargas da subestação de AT, na condição de manutenção, que considera duas unidades geradoras em operação e uma em manutenção, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Tomadas de Força (2)	10
Motores da Chaves Seccionadoras e Compressores dos Disjuntores de AT (1)	5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	15,0
TOTAL GERAL (kVA)	20,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

8.3.6 Resumo

O resumo das cargas da usina, na condição de manutenção, que considera duas unidades geradoras em operação e uma em manutenção, está indicado na tabela a seguir:

POTÊNCIA kVA						
OPERAÇÃO	3 Unidades	Casa de Força	Tomada d'Água	Vertedouro	Subestação	Total
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	311,5	151,5	5,0	5,0	5,0	478,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	9,0	65,0	0	0	0	74,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	3,0	305,5	50,0	37,5	15,0	411,0

8.4 Potência Nominal dos Transformadores

Com base nas condições de operação da usina, normal e manutenção, analisadas acima, as cargas consideradas são indicadas a seguir:

POTÊNCIA kVA		
OPERAÇÃO	Normal	Manutenção
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	627,0	478,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	74,0	74,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	239,5	411,0
TOTAL GERAL	940,5	963,0

Pelos dados obtidos, a potência do transformador para atender a maior carga contínua da usina, que ocorre durante a operação normal, deveria ser de 627,0 kVA, pois a carga contínua durante a operação de manutenção é de 478,0kVA.

Se adicionalmente à carga contínua de 627,0 kVA, durante a operação normal da usina, considerarmos a operação do sistema móvel de tratamento de óleo isolante (60kVA) e a bomba de drenagem (20kVA) ou o compressor de ar de regulação (30kVA), totalizando uma carga adicional de 80 ou 90kVA, a potência nominal mínima do transformador deveria ser de 707,0 kVA ou 717,0 kVA.

Se adicionalmente à carga contínua de 478,0 kVA, durante a operação de manutenção da usina, considerarmos a operação do sistema móvel de tratamento de óleo isolante (60kVA), a bomba de drenagem (20kVA), o compressor de ar de regulação (30kVA) e as bombas de esgotamento (2x30kVA), totalizando uma carga adicional de 170kVA, a potência mínima do transformador deveria ser de 648,0,0 kVA.

Para atender as duas situações, a potência nominal mínima dos transformadores deveria ser 717,0 kVA. Para atender essa carga, as potências nominais padronizadas de transformadores, disponíveis no mercado, são de 750 e 1000KVA. Para atender os fatores de segurança de projeto e incerteza das informações iniciais do projeto, a potência nominal dos transformadores de serviços auxiliares da usina deve ser de 1000 kVA.

Os transformadores instalados dentro da casa de força são do tipo seco, cuja impedância de curto circuito é, normalmente, 6%. A impedância dos transformadores à óleo é, normalmente, 5%. O valor da impedância de curto circuito, bem como as derivações do enrolamento primário, devem ser definidas na especificação correspondente, em função dos dados das cargas e estudo das variações de tensão nos diversos pontos do sistema.

8.5 Tensões no Secundário do Transformador

Para fazer uma rápida verificação dos valores de tensão no secundário dos transformadores, consideraremos as informações do informativo IT.EL.SA.CA.01.R1 Tensões Nominais e Variações de Tensão, onde se define que a tensão no primário poderá variar na faixa de 93 a 105% da tensão nominal.

Utilizando a planilha PL.EL.SA.AC.01.R1 TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA - Cálculo da Tensão nos Terminais e considerando a tensão primária no transformador no valor nominal, utilização da derivação nominal, carga máxima de potência constante de 617kVA ($\cong 717\text{kVA}-100\text{hp}$), 460V, fator de potência 0,85, que após a partida do motor de 100hp, totalizará os 717kVA estimados, e a partida de um motor com os seguintes dados:

Potência Nominal: 100hp

Tensão nominal: 460V

Corrente de partida: 1054A

Fator de potência na partida: 0,3

Nas condições acima a tensão no secundário do transformador será 442,87V.

DADOS DO SISTEMA			
Transformador	V_{Pn}	Tensão Primária Nominal do Transformador (kV)	13,8
	V_{Sn}	Tensão Secundária Nominal do Transformador (V)	480
	P_{TFn}	Potência Nominal do Transformador (kVA)	1000
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	6
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	V_P	Tensão no Primário do Transformador (kV)	13,8
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Primário (pu)	1
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	617
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	FP_{C_v}	Fator de Potência da Carga Variável	
	$V_{M_{pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	$I_{M_{pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
	FP_{M_p}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

V_{T_s} Tensão nos terminais do secundário do transformador (V)	442,87
---	--------

Fazendo algumas simulações, alterando o valor da tensão no primário do transformador (13,8KV,-7%,+5%), a derivação utilizada (0,95-1,0-1,05), a potência da carga constante 900kVA ($\cong 1000\text{kVA}-100\text{hp}$) e 617kVA ($\cong 717\text{kVA}-100\text{hp}$), considerando a partida do motor de 100hp como última carga a ser aplicada, podemos preparar a seguinte tabela:

V_P (kV)	k	$P_{C_{Kn}}$ (kVA)	V_{T_s} (V)
12,834	0,95	900	430,20
	1		403,32
	1,05		377,41
	0,95	617	436,55
	1		406,97
	1,05		385,38
13,8	0,95	900	466,03
	1		436,80
	1,05		409,57
	0,95	617	416,80
	1		442,87
	1,05		416,80
14,49	0,95	900	490,93
	1		460,55
	1,05		432,34
	0,95	617	495,73
	1		466,27
	1,05		439,13

Outras simulações podem ser exploradas pelo usuário para definir sua aplicação às condições específicas da sua instalação e condições de operação.

9 GRUPO DIESEL GERADOR DE EMERGÊNCIA

A potência do grupo diesel gerador de emergência da usina deve atender, nas condições permanentes e transitórias, o consumo das cargas contínuas e, simultaneamente, o consumo da operação de cargas intermitentes e esporádicas da instalação, durante a operação de emergência

9.1 Análise dos Dados

Para definir a potência do grupo diesel gerador de emergência da usina é necessário analisar e interpretar os dados das tabelas das e as condições de operação.

9.1.1 Carga das Unidades

A condição de operação de emergência da usina ocorre quando as fontes de corrente alternada da usina falham, provocando a parada das unidades geradoras. A parada das unidades deve ocorrer, excepcionalmente, sem necessidade do funcionamento dos seus sistemas auxiliares. O grupo diesel gerador de emergência deve partir, automaticamente, e alimentar as cargas essenciais da usina e, para restabelecer a condição de operação normal da usina, deve alimentar os sistemas auxiliares da primeira unidade durante a sua partida. Antes de restabelecer a condição normal do sistema, cargas não essenciais podem ser alimentadas, desde que o grupo diesel gerador de emergência tenha capacidade para isso.

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA					
	INÍCIO DA PARTIDA	PARTINDO	FINAL DA PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DA PARADA
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina (2)	100	100	100	100	100	100
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador (2)	10	10	10	10	10	10
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina (2)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora (2)	15	15			15	15
Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina (2)	3	3	3	3	3	3
Resistores de Aquecimento do Gerador (1)						
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina (1)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade (1)	1,5					1,5
Cubículo de Excitação do Gerador (1)			10			
Auxiliares do Transformador Elevador (1)	30	30	30	30	30	30
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento (1)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	164,5	163,0	158,0	148,0	163,0	164,5
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	3	3	3	3	3	3
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
TOTAL GERAL (kVA)	169,0	167,5	162,5	152,5	167,5	169,5

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

9.1.2 Cargas da Casa de Força

As cargas da casa de força, nas condições de operação em emergência, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Bombas de Drenagem (2)	20
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade (2)	30
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	10
Sistema de Ar Condicionado (2)	15
Compressores de Ar de Serviço (2)	15
Sistema de Telecomunicações (2)	10
Carregadores de Baterias (2)	5
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (6)	30
Elevador de Pessoas (1)	7,5
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência (1)	1,5
Bombas de Combate a Incêndio (2)	50
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	71,5
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	65,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	57,5
TOTAL GERAL (kVA)	194,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

9.1.3 Cargas da Tomada d'Água

As cargas da tomada d'água, nas condições de operação em emergência, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água (2)	15
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	15,0
TOTAL GERAL (kVA)	20,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

9.1.4 Cargas do Vertedouro

As cargas do vertedouro, nas condições de operação em emergência, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA kVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro (2)	7,5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	7,5
TOTAL GERAL (kVA)	12,5

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

9.1.5 Cargas da Subestação de AT

As cargas da subestação de AT, nas condições de operação em emergência, estão indicadas a seguir:

DESCRIÇÃO DA CARGA	POTÊNCIA KVA
Transformadores de Iluminação e Aquecimento (1)	5
Motores da Chaves Seccionadoras e Compressores dos Disjuntores de AT (1)	5
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	5,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	5,0
TOTAL GERAL (kVA)	10,0

OBS: Os números entre parêntesis junto à descrição da carga indicam a quantidade.

9.1.6 Resumo

O resumo das cargas da usina, na condição de operação em emergência, está indicado na tabela a seguir:

POTÊNCIA kVA						
OPERAÇÃO	1ª Unidades	Casa de Força	Tomada d'Água	Vertedouro	Subestação	Total
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	164,5	71,5	5,0	5,0	5,0	251,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	3	65,0	0	0	0	68,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	1,5	57,5	15,0	7,5	5,0	86,5

9.2 Potência Nominal do Grupo Diesel Gerador de Emergência

Com base na condição de operação da usina em emergência, analisada acima, as cargas consideradas são indicadas a seguir:

POTÊNCIA kVA	
OPERAÇÃO	Emergência
TOTAL CONTÍNUA (kVA)	251,0
TOTAL INTERMITENTE (kVA)	68,0
TOTAL ESPORÁDICA (kVA)	86,5
TOTAL GERAL	405,5

Pelos dados obtidos, a potência do grupo diesel gerador de emergência para atender a maior carga contínua da usina, que ocorre durante a operação em emergência, deveria ser de 251,0 kVA.

Se adicionalmente à carga contínua de 251,0 kVA, durante a operação em emergência da usina, considerarmos como contínua a operação da bomba de drenagem (20kVA) e o compressor de ar de regulação (30kVA), totalizando uma carga adicional de 50kVA, a potência nominal contínua (prime), mínima, do grupo diesel gerador de emergência deveria ser de 301,0 kVA.

Adotando um fator de 20% para atender a variação das potências estimadas e futuros acréscimos, a potência contínua (prime) do grupo diesel gerador de emergência deverá ser de 360kVA.

Os grupos são especificados para operação com potência aparente contínua (prime) e fator de potência 0,8. Esta potência é a potência fornecida nos terminais do alternador, ou seja,

para um grupo com potência nominal contínua (prime) de 360kVA, o alternador fornece uma potência ativa contínua (prime) de 288kW e, em emergência (stand by), uma potência aparente de 396kVA e uma potência ativa de 316,8kW. Entretanto, a escolha de um grupo diesel gerador de emergência não é uma tarefa tão simples, pois se devem levar em consideração as condições transitórias de operação das cargas e as variações de tensão no sistema.

Os grupos diesel são fornecidos para várias finalidades, tais como operação contínua e emergência. Os grupos para operação contínua devem ser especificados para operar com baixa rotação (normalmente 1200 rpm) e os de emergência com alta rotação (normalmente 1800 rpm). A potência nominal de um mesmo motor diesel é maior quando opera em 1800 rpm (60Hz) em vez de 1500 rpm (50Hz). Os valores destas potências são informados pelos fabricantes e, normalmente, são diretamente proporcionais à rotação.

Os grupos diesel geradores de emergência podem operar com uma sobrecarga de 10% acima da potência nominal (contínua ou prime), durante 1 hora a cada 12 horas de funcionamento. Esta potência é chamada de potência de emergência (stand by).

Na definição de grupos diesel deve se considerar a utilização de grupos híbridos, quando a potência nominal do motor diesel não corresponde à potência nominal do alternador.

9.3 Alternador

O alternador deve ser dimensionado para atender as potências ativa e aparente e, seu regulador de tensão, deve manter tensão dos terminais no valor ajustado.

A escolha do alternador do grupo diesel gerador de emergência dependerá das condições de operação e das características das cargas, das variações de tensão admissíveis dos componentes da instalação e das características dos grupos diesel geradores disponíveis no mercado. Não existe uma fórmula padrão a ser considerada. O que deve ser feito é calcular os consumos das cargas, permanentes e transitórios, e considerar a pior condição.

9.3.1 Tensão de Operação do Alternador

A tensão do alternador do grupo é mantida constante no valor de tensão de operação ajustado. Assim, o valor da tensão de operação de um alternador, com tensão nominal de 480V, pode ser ajustado em um valor superior, por exemplo, 506V (460V +10%), que atende os limites de tensão dos equipamentos de 460V e 480V. Esse ajuste permite que, durante os períodos transitórios de operação (partida de motores e aplicação de cargas), a tensão nas cargas se mantenha dentro de limites mínimos aceitáveis e, nos períodos de operação normal, não ultrapasse os limites máximos suportáveis pelos componentes.

A tensão de operação do alternador, ajustada em 506V, implicará que a tensão máxima no secundário dos transformadores de 480-120V (relação 4:1) será 126,5V (115V+10%), ou seja, dentro do limite máximo de tensão admissível para bobinas dos relés e contadores de tensão nominal 115V.

9.3.2 Variações de Tensão

A variações de tensão normalmente admitida nos equipamentos são de 480V±10% (432V a 528V) para as cargas em geral; 460V, -5%, +10% (437V a 506V) para motores durante a operação normal e, considerando a partida dos motores seja direta à plena tensão, 460V-10% (414V), durante a partida.

Quando os controles dos motores são alimentados em corrente contínua, não existe a preocupação com a queda de tensão nos motores durante a partida.

Como a tensão mínima nas bobinas dos contatores dos motores deve ser, por norma, 85% da tensão nominal, este valor mínimo será 97,75V para contatores de 115V. Se os controles dos motores forem alimentados por transformadores de controle de relação 480-120V (4:1), e estes controles estiverem próximos aos motores (caso mais desfavorável), para a tensão de 414V nos motores, a tensão no controle será 103,5V, ou seja, 90% da tensão nominal de contatores com bobinas de 115V nominais.

A tensão mínima nos terminais dos motores, durante a partida, poderia ser admitida em 391V (460V,-15%), principalmente se tratando de motores que acionam bombas e compressores, que são a maioria das cargas de uma usina. Observar que existem fabricantes de contatores que garantem que os contatores se mantêm fechados com tensões até inferiores a 70% da tensão nominal.

Cargas vitais da usina como, por exemplo, carregadores de baterias, sistemas de comunicação e sistemas digitais de supervisão e controle (SDSC) podem operar com quedas de tensão de 15%, ou seja, 408V (480V-15%). Entretanto, estas e outras cargas como, por exemplo, sistemas de aquecimento, movimentação de cargas e iluminação, em caso de quedas de tensão superiores a 15% não sofrem descontinuidade no seu funcionamento, pois assim que o problema transitório desaparece, voltam a operar normalmente. Portanto, excepcionalmente, essa condição de operação emergencial pode ser admitida.

Pelo acima exposto, a tensão de operação do alternador poderá ser ajustada em 506V e a tensão mínima transitória admitida poderá ser 414V podendo chegar até 391V.

9.3.3 Reatância Transitória $X'd$

A reatância transitória do alternador é definida em função da queda de tensão máxima admissível nos seus terminais, durante os períodos transitórios de operação do grupo diesel de emergência, principalmente durante a partida de motores e/ou aplicação de conjunto de cargas.

Para reduzir a queda de tensão no alternador durante os períodos transitórios, a reatância transitória do alternador deve ser calculada para limitar seus valores.

Como a potência definida para o alternador do grupo diesel de emergência é de 360kVA, a pior condição transitória será quando a última carga a partir seja um motor das bombas de óleo do regulador de velocidade da turbina (100hp≈100kVA), ou seja, quando o grupo estiver alimentando uma carga inicial de 260kVA (360kVA-100kVA).

A tensão nos terminais do alternador depende da tensão considerada nos terminais dos motores e na queda de tensão no circuito de alimentação. Entretanto, podemos garantir que a tensão nos terminais do alternador será maior que a tensão nos terminais do motor, devida a queda de tensão. Portanto, como a corrente de partida dos motores é proporcional ao valor da tensão, para efeito de cálculo da reatância transitória do alternador, podemos considerar a tensão admitida nos terminais do motor como sendo a tensão nos terminais do alternador.

9.3.3.1 Cargas Consideradas

Para o cálculo da reatância transitória do alternador serão consideradas as seguintes cargas estimadas:

a) Carga Inicial de Potência Constante:

Potência Nominal: 210kVA

Tensão Nominal: 460V

Fator de Potência: 0,85

b) Carga Inicial de Potência Variável

Potência Nominal: 50kVA

Tensão Nominal: 480V

Fator de Potência: 0,9

c) Partida de Motor

Potência Nominal: 100hp

Tensão nominal: 460V

Corrente de partida: 1054A

Fator de potência na partida: 0,3

9.3.3.2 Cálculo da Reatância Transitória

Usando a planilha PL.EL.SA.CA.02.R1 GRUPOS DIESEL GERADORES - Cálculo da Reatância Transitória, a reatância transitória do alternador será calculada considerando as cargas informadas, tensão nominal do alternador 480V, valor ajustado da tensão em 506V, potência nominal de 360kVA.

Para Tensão nos Terminais do Alternador: 391V

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada no Alternador (V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	360	
	VG_T	Tensão nos Terminais do Alternador (V)	391	
Dados das Cargas	Inicial	PC_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	210
		VC_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		PC_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		VC_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
		FPM_p	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Reatância transitória do alternador	$X' G_n$ (%)	11,31
-------------------------------------	--------------	-------

Para Tensão nos Terminais do Alternador: 414V

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada no Alternador (V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	360	
	VG_T	Tensão nos Terminais do Alternador (V)	414	
Dados das Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	210
		Vc_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{Vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{Vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_V	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
		FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Reatância transitória do alternador	$X'G_n$ (%)	8,71
-------------------------------------	-------------	------

Temos então as reatâncias máximas de 11,31% e 8,71%, para o caso de considerar as tensões mínimas no motor 391V e 414V, respectivamente.

9.3.4 Escolha do Alternador

A potência nominal do alternador é definida em função das potências ativa e aparente solicitadas pelas cargas durante os regimes permanente e transitório de operação, do valor da tensão nominal do alternador, da sua tensão de operação, da reatância transitória do alternador e das variações admissíveis das tensões nas cargas e no sistema.

Ocorre que não existe um gerador com potência de 360kVA e reatâncias de 11,31% e 8,71%. Portanto, teremos que escolher, dentro dos alternadores disponíveis no mercado, um alternador que seja equivalente ao definido.

Com base nas informações de alternadores do catálogo da WEG, verificamos que existem dois alternadores que atendem os valores acima calculados, são os modelos 280MI30AI e 280MI40A, cujos dados estão indicados abaixo:

Modelo		480 V - Y / 240 V - YY					
		ΔT	80 °C	105 °C	125 °C	150 °C	163 °C
Linha AG10 - AG10	280MI30AI	kVA	456	510	570	600	650
		kW	365	408	456	480	520
	280MI40AI	kVA	484	565	605	650	691
		kW	387	452	484	520	553
	315MI10AI	kVA	520	596	650	700	750
		kW	416	477	520	560	600
	315MI15AI	kVA	570	650	710	780	825
		kW	456	520	568	624	660
	315MI20AI	kVA	642	736	803	875	906
		kW	514	589	642	700	725
	315MI30AI	kVA	740	850	925	1010	1056
		kW	592	680	740	808	845

Modelo	Xd' (%) Saturada
	220/440 V
250SI10AI	17,43
250SI20AI	18,39
250MI00AI	18,40
250MI10AI	16,58
250MI20AI	16,40
280MI20AI	16,53
280MI30AI	19,70
280MI40AI	13,80

Como as reatâncias transitórias estão referidas à tensão de 440V, os valores referidos à tensão de 480V e potência 360kVA, temos:

Para o modelo 280MI30AI (570kVA).

$$Z_{G(480)} = 19,7 \frac{440^2}{480^2} \frac{360}{570} = 10,45\%$$

Para o modelo 280MI40AI (605kVA).

$$Z_{G(480)} = 13,8 \frac{440^2}{480^2} \frac{360}{605} = 6,90\%$$

O alternador modelo 280MI30AI (570kVA) atende somente a condição da tensão mínima de 391V e o 280MI40AI (605kVA) atende as duas condições (391V e 414V).

Outra maneira de verificar se esta equivalência será atendida é analisar a condição:

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} \geq \frac{P_{Gc}}{X'_{Gc}}$$

Onde:

P_{Gn} Potência Nominal do Alternador Equivalente (kVA)

P_{Gc} Potência Nominal do Alternador Calculado (kVA)

X'_{Gn} Reatância Transitória do Alternador Equivalente (%)

X'_{Gc} Reatância Transitória do Alternador Calculado (%)

Considerando a tensão mínima de 391V nos terminais do alternador,

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} \geq \frac{360}{11,31} = 31,83$$

Considerando a tensão mínima de 414V nos terminais do alternador,

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} \geq \frac{360}{8,71} = 41,33$$

Como as reatâncias transitórias estão referidas à tensão de 440V, os valores referidos à tensão de 480V serão:

$$Z_{G(480)} = Z_{G(440)} \frac{440^2}{480^2}$$

Para o alternador 280MI30AI, cuja reatância transitória, em 440V e 570kVA é 19,7%.

$$Z_{G(480)} = 19,7 \frac{440^2}{480^2} = 16,55\%$$

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} = \frac{570}{16,55} = 34,44 \geq 31,83$$

Para o alternador 280MI40AI, cuja reatância transitória, em 440V e 605kVA é 13,8%.

$$Z_{G(480)} = 13,8 \frac{440^2}{480^2} = 11,60\%$$

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} = \frac{605}{11,6} = 52,16 \geq 31,83 \text{ e } 41,33$$

O alternador modelo 280MI30AI (570kVA) atende somente a condição da tensão mínima de 391V e o 280MI40AI (605kVA) atende as duas condições (391V e 414V).

9.3.5 Cálculo das Tensões Mínimas

Utilizando a planilha PL.EL.SA.CA.03.R1 GRUPOS DIESEL GERADORES - Cálculo da Tensão nos Terminais, para o modelo 280MI40AI (605kVA), considerando os dados referidos à potência 360kVA, 480V, 6,90%, a tensão mínima será 431,03V:

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada do Alternador(V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	360	
	$Z'G_n$	Reatância Transitória Nominal do Alternador (%)	6,90	
Dados das Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	210
		Vc_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPc_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPc_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
		FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Tensão nos Terminais do Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	431,03
--	--------------	--------

A seguir os cálculos para potência 605kVA, 440V, 13,80% e potência 605kVA, 480V, 11,60%. Os resultados são iguais, pois as diferenças de tensão encontradas na segunda casa decimal, se devem ao arredondamento dos valores inseridos na planilha.

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	440	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada do Alternador(V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reatância Transitória Nominal do Alternador (%)	13,80	
Dados das Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	210
		Vc_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPc_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPc_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicadda	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
		FPM_p	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Tensão nos Terminais do Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	431,03
--	--------------	--------

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada do Alternador(V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reatância Transitória Nominal do Alternador (%)	11,60	
Dados das Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	210
		Vc_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
		FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Tensão nos Terminais do Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	431,00
--	--------------	--------

Para o modelo 280MI30AI (570kVA), 440V, 19,70%, a tensão mínima será 398,40V. Não serão calculadas as tensões para outros valores de potência, tensão e reatância pois, como vimos, as tensões serão iguais.

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	440	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada do Alternador(V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	570	
	$Z'G_n$	Reatância Transitória Nominal do Alternador (%)	19,70	
Dados das Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	210
		Vc_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicadda	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
		FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Tensão nos Terminais do Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	398,40
--	--------------	--------

9.3.6 Definição do Alternador

Na análise dos dados e cálculos efetuados, verifica-se que o alternador modelo 280MI40AI, de 605kVA, com 35kVA a mais de potência que o modelo 280MI30AI, tem uma tensão mínima bastante superior, que justifica sua escolha. Portanto, com os resultados encontrados se pode definir que o modelo do alternador será o 280MI40AI com potência nominal contínua de 605kVA.

9.4 Motor Diesel

O motor diesel deve ser dimensionado para acionar o conjunto e fornecer a potência ativa requerida pelo alternador e, seu regulador de velocidade, deve manter a rotação do conjunto no valor ajustado. Os dados do motor diesel devem ser acordados com o fabricante do conjunto, de modo que o motor diesel acione o alternador nas condições de carga definidas, levando também em conta as condições do local da instalação e outros requisitos definidos pelo Cliente, tais como fator de sobrecarga e outros. Portanto, os dados das cargas, requisitos e condições de operação devem ser fornecidos ao fornecedor do grupo.

9.4.1 Cálculo da Potência Ativa Solicitada

O motor diesel deverá ser capaz de acionar o alternador em qualquer condição de operação das cargas. Portanto, deverá ser capaz de atender, no mínimo, a potência ativa solicitada pela carga ao alternador.

$$P_{solicitada\ ao\ alternador}(kW) = P_{carga\ inicial}(kW) + P_{partida\ motor\ 100hp}(kW)$$

Para efeito de estimar a potência do motor diesel, como a pior condição considerada foi com a carga inicial de 260kVA e partida do motor de 100hp, a potência ativa solicitada pelas cargas ao alternador, utilizando o critério da aproximação 1cv=1hp=1kW=1kVA, será:

$$P_{carga\ inicial}(kW) = 260kVA = 260kW$$

Considerando os dados nominais do motor:

$$P_{partida\ motor\ 100hp}(kW) = P(kW) = \sqrt{3} \times 0,46 \times 1054 \times 0,3 = 252kW$$

$$P_{solicitada\ ao\ alternador}(kW) = 260 + 252 = 512kW$$

A potência solicitada pelo alternador ao motor diesel dependerá do seu rendimento para a potência solicitada.

Supondo que o rendimento para essa potência solicitada seja 90%, a potência líquida fornecida pelo motor diesel ao alternador será:

$$P_{minima\ do\ motor\ diesel}(kW) = \frac{512}{0,9} = 569kW$$

9.5 Conclusão

O grupo diesel gerador de emergência poderá ser um conjunto híbrido, pois apesar do alternador ter uma potência contínua (prime) de 605kVA (484kW), que implicaria em uma potência stand by de 665kVA (532kW), o motor diesel não deve, necessariamente, atender essas potências. Portanto, para definir os componentes do grupo, as condições de operação e dados das cargas devem ser claramente informadas ao fornecedor, que definirá a melhor composição que atenda técnica e comercialmente às necessidades da instalação.

9.5.1 Potência Nominal do Grupo

Os dados do grupo diesel gerador de emergência poderão ser:

Potência Contínua (Prime): 360kVA

Potência de Emergência (Stand By): 396kVA

Fator de Potência: 0,8

Tensão Nominal: 480V

Frequência Nominal: 60Hz

9.5.2 Alternador

Fabricante: WEG

Modelo: 280MI40AI

Potência Nominal: 605kVA

Tensão Nominal: 480V

Frequência Nominal: 60Hz

Tensão de Operação: 506V

Reatância Transitória em 480V: 11,60%

Obs.: Outro modelo de alternador pode ser definido pelo fornecedor do grupo, mas deverá atender a equivalência para atender à instalação.

9.5.3 Motor Diesel

A potência líquida mínima fornecida pelo motor diesel o alternador deve ser 569kW. Em função da aplicação do motor, e considerando que a frequência do sistema é 60Hz, a rotação nominal deverá ser 1800rpm.

9.6 Utilização do Conjunto

O grupo pode ser fornecido com uma placa com os dados nominais especificados para o grupo, mas as placas dos dados do alternador e do motor devem ser os dos realmente fornecidos para permitir que o usuário, em função de suas eventuais necessidades, possa utilizar o grupo dentro das limitações dos equipamentos. Apesar do grupo ter sido dimensionado com uma potência nominal de 360kVA, o usuário pode utilizar o grupo em outras condições de operação, diferentes das previstas, mas dentro das capacidades dos componentes do grupo fornecido e limitações da instalação.